



Jean Piaget 1968-1979 : Une décennie de recherches sur les mécanismes de construction cognitive

Jean-Jacques Ducret



Jean Piaget 1968-1979 :
Une décennie de recherches
sur les mécanismes
de construction cognitive

Jean-Jacques Ducret



Table des matières

Avant-propos.....	13
Introduction.....	15
Liste des onze ouvrages présentés.....	22
1. La prise de conscience.....	23
Avant-propos.....	23
Chapitres :	
I La marche à quatre pattes (avec A. Henriques).....	25
II Le trajet d'un projectile lancé par une fronde (avec M. Flückiger).....	25
III La marche en retour d'une balle de ping-pong et d'un cerceau (avec A. Henriques).....	29
IV Le plan incliné (avec A.-M. Zutter).....	31
V Les constructions d'un chemin en pente (avec M. Robert).....	33
VI Le jeu dit des « puces » (avec C. Dami).....	35
VII Le choc des boules (avec C. Dami).....	36
VIII La poussée de mobiles de formes différentes (avec I. Flückiger-Geneux).....	38
IX Le halage d'un paquet (avec C. Gilliéron).....	39
X La catapulte (avec O. de Marcellus).....	41
XI La prise de conscience d'orientations contraires aux directions prévues (avec A. Blanchet).....	43
XII La construction de trajets au moyen de rails connectés (avec A. Munari).....	44
XIII Le retournement d'un fil par rapport à deux anneaux (avec D. Liambey et N. Burdet).....	46
XIV La tour de Hanoï (avec A. Cattin).....	47
XV La prise de conscience de la sériation (avec J.-P. Bronckart, avec l'aide de A. Henriques).....	49
Conclusions générales.....	52



2. Réussir et comprendre

Avant-propos 59

Chapitres :

I Construction au moyen de cartes (avec R. Maier) 60

II La chute récurrentielle de dominos alignés (avec C. Stratz) 61

III L'utilisation de la transmission du mouvement
(avec C.-L. Bonnet)..... 62

IV La construction d'un pont et le problème des contrepoids
(avec M.-F. Graven et R. Maier)..... 65

V Les conduites pratiques relatives à la balance
(avec M. Amann) 69

VI La construction, le maniement et la conceptualisation
de leviers (avec C. Othenin-Girard)..... 72

VII Le braquage des voitures (avec A. Moreau)..... 75

VIII La direction d'un bateau au moyen d'un gouvernail
ou d'une voile (avec la collaboration de S. Uzan) 77

IX L'enroulement de chaînes autour de diverses plaquettes
(avec T. Vergopoulo)..... 78

X La lecture des observables en une situation de démultiplication
(avec T. Vergopoulo)..... 80

XI L'effectuation de parcours équivalents (avec M. Labarthe) 82

XII Les conduites d'ajustement pour obtenir une réflexion
en miroir (avec A. Henriques)..... 84

Conclusions générales 86

3. Recherches sur la contradiction

Avant-propos 91

Introduction 91

Chapitres :

I Transitivité des différences infraliminaires (avec A. Bullinger) 93



II	La contradiction dans les compositions partitives (avec J.-J. Ducret, section I et A. Henriques, section II)	96
III	Réactions à l'irrationnel et doubles inversions (avec M. Robert)	99
IV	Les contradictions relatives au ressort (avec A. Munari et I. Papandropoulou)	100
V	Les différentes attitudes face à la non-confirmation d'une prévision (avec T. Vergopoulo, section I et C.-L. Bonnet, section II)	102
VI	Les contradictions dans les coordinations d'observables (avec C. Kamii et S. Parrat-Dayan)	106
VII	La cohérence progressive dans l'interprétation des inversions en miroir et de la réfraction (avec J.-P. Bronckart et A. Cattin)	109
VIII	Contradictions issues des fausses symétries de l'inclusion (avec J. Montangero)	113
IX	Les transferts simples ou réciproques d'une collection à une autre (avec A. Henriques, section I et G. Cellérier et D. Maurice, section II)	116
X	Contacts et séparations (avec R. Maier, section I et O. Mosimann, section II)	119
XI	Contradiction et conservation des quantités (avec C. Othenin-Girard, section I et S. Uzan, section II)	122
XII	Contradiction et conservations spatiales ou cinématiques (avec M. Labarthe, section I, C. Gilliéron, section II et A. Blanchet, section III)	125
XIII	Le plein et le vide (avec A. Henriques)	129
XIV	Les contradictions relatives au « presque pas » (avec T. Vergopoulo, section I et C. Dami, section II)	132
XV	Les contradictions en cas de facteurs extérieurs multiples (avec T. Vergopoulo, section I, M. Gainotti-Amann, section II et J. de Lannoy, section III)	136
	Conclusions générales	138



4. Recherches sur l'abstraction réfléchissante

Avant-propos	146
Première partie (in vol. I) : L'abstraction logico-arithmétique ou algébrique	
I Abstractions, différenciations et intégrations dans l'utilisation d'opérations arithmétiques élémentaires (avec A. Szeminska)	149
II La construction de commun multiple (avec J.-L. Kaufmann et J.-F. Bourquin)	154
III L'inversion des opérations arithmétiques (avec A. Moreau)	156
IV Abstraction et généralisation lors de transferts d'unités (avec P. Moessinger).....	159
V Problèmes d'inclusions et d'implications (avec D. Voelin et I. Berthoud).....	162
VI La formation des corrélats (avec J. Montangero et J.-B. Billeter).....	169
VII Des formes concrètes du groupe de Klein au groupe INRC (avec A. Munari).....	171
Deuxième partie (in vol. II) : L'abstraction de l'ordre	
VIII Séries additives et exponentielles (avec T. Vergopoulos)	173
IX Les conditions de la lecture de séries additives complexes (avec J. Cuau et J. Cambon, section I et J.-J. Ducret, section II)	175
X L'ordre des actions pratiques (avec S. Dayan et E. Decker, section I et M. Spycher et C. Voelin, section II)	180
XI Les changements d'ordre ou reculs nécessaires (avec A. Blanchet).....	181
Conclusions de la deuxième partie	182
Troisième partie : L'abstraction des relations spatiales	
XII Relations entre surfaces et périmètres (avec J.-P. Bronckart et E. Rappe du Cher)	183
XIII Les mouvements d'un projectile suspendu (avec M. et I. Flückiger).....	186
XIV Les diagonales (avec M. Lavallée et M. Solé-Sugrand)	191



XV Le déplacement du point de repère dans un système de mouvements cycliques (avec E. Ackermann et N. Cox)	193
XVI Abstractions à partir d'actions de déplacements et de leurs coordinations (avec J. Cambon et J. Cuaz)	195
XVII Rotations et translations (avec J. de Lannoy)	198
XVIII La rotation d'une tige au niveau sensori-moteur (avec C. Monnier)	200
Conclusions de la troisième partie	203
Conclusions générales	205
5. Recherches sur la généralisation	
Introduction	211
Chapitres :	
I Les généralisations conduisant à « l'ensemble des parties » (avec D. Voelin-Liambey et I. Berthoud)	211
II Combinaison des longueurs (avec A. Blanchet)	216
III Formation de couples, triplets, etc., entre nombres successifs (avec M. Lavallée et M. Solé-Sugranes)	218
IV Un raisonnement récurrentiel relatif à des polygones inscrits (avec J. Vauclair)	221
V La récurrence dans la somme des angles d'un polygone convexe (avec J. Cambon et J. Cuaz)	224
VI L'allongement des périmètres (avec A. Bullinger et P. Mengal)	227
VII Le plus court chemin entre deux plans perpendiculaires (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher)	230
VIII Différenciations et intégrations en des effets mobiles de superpositions (moirés) (avec E. Ackermann-Valladao et M. Flückiger)	233
IX Un problème de mouvements relatifs (avec C. Kamii, E. Dekkers et S. Dayan)	235
X Les observables et les « raisons » en des problèmes de possibilités avec A. Moreau	236
XI Généralisations relatives à la pression et à la réaction	



(avec A. Karmiloff-Smith et J.-P. Bronckart).....	340
XII La généralisation de la notion de vitesse (avec E. Dekkers et S. Dayan)	243
XIII Un cas de généralisation constructive propre au stade III (avec J.-F. Bourquin)	247
XIV Conclusions générales	248
XV Généralisation opératoire et généralisation formelle en mathématique (par G. Henriques)	255
6. Recherches sur les correspondances	
Introduction	257
Chapitres :	
I Correspondances et coordinateurs dans les débuts du dessin (avec A. Bullinger, E. Mayer et P. Mengal)	260
II La formation des premières correspondances entre objets et les différenciations des coordinateurs (avec E. Rappe du Cher).....	264
III Morphismes et transformations relatifs à la rotation d'un disque (avec C. Monnier et J. Vauclair).....	270
IV Les correspondances entre trajectoires (avec E. Ackermann-Valladao et A. Blanchet)	273
V Les correspondances entre éléments sériables dans une situation de contenant à contenu (avec D. Voelin-Liambey et I. Berthoud-Papandropoulou).....	276
VI Correspondances et compositions relatives à la résistance de chaînes (avec E. Marti et S. Wagner).....	284
VII Correspondances et transformations dans le cas de l'intersection (avec C. Voelin)	287
VIII Correspondances et relations (avec A. Karmiloff-Smith et J.-P. Bronckart)	290
IX Les correspondances en un système topologique (ouvertures et fermetures d'un labyrinthe) (avec F. Kübli)	294
X Les embranchements successifs en une structure d'arbre (avec E. Dekkers et S. Parrat-Dayan).....	296
Conclusions générales	299



7. Morphismes et catégories	305
Préface (de Seymour Papert)	306
Introduction	307
Chapitres :	
I Rotations et circumductions (avec C. Monnier et J. Vaclair) 309	
II La composition de deux successions cycliques (avec D. Voelin Liambey et I. Berthoud-Papandropoulou)	311
III La rotation du cube (avec A. Moreau)	315
V Compositions et conservation de longueurs (avec I. et M. Flückiger)	318
V La composition des différences (avec E. Marti et E. Mayer) 321	
VI Les sections d'un parallélépipède et d'un cube (avec H. Kilcher et J.-P. Bronckart)	326
VII Les correspondances de parentés (avec C. Brulhart et E. Marbach)	329
VIII Un cas particulier de symétrie inférentielle (carte routière à lire à l'envers) (avec A. Karmiloff-Smith)	334
IX Conflits entre symétries (avec A. Karmiloff-Smith) ...	336
X Correspondance et causalité (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher)	338
XI L'équilibre des moments en un système de disques coaxiaux (avec F. Kübli)	342
XII Comparaison de deux machines et de leurs régulateurs (avec A. Blanchet et E. Ackermann-Valladao)	345
XIII Morphismes et transformations dans la construction d'invariants (par G. Henriques)	348
XIV Théorie des catégories et épistémologie génétique (par E. Ascher)	353
Conclusions générales	354



8. Le possible et le nécessaire. I : L'évolution des possibles chez l'enfant	
Introduction	360
Chapitres :	
I Les positions de trois dés sur un support (avec C. Monnier et S. Dionnet)	364
II Les trajets possibles d'une voiture (avec C. Monnier et J. Vauclair).....	365
III Les formes possibles d'une réalité partiellement cachée (avec E. Marbach).....	366
IV Le découpage d'un carré (avec E. Marti et C. Coll) ...	370
V Dimidiations et duplications (avec A. Henriques-Christophides).....	373
VI Constructions libres avec tiges articulées (avec A. Blanchet et D. Leiser)	375
VII Comment faire monter un niveau d'eau (avec C. Brulhart et G. Tissot)	376
VIII La construction la plus grande au moyen des mêmes objets (avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis)	377
IX Constructions d'objets avec tiges et boulettes de pâte (avec I. et M. Flückiger).....	379
X Un cas de possible déductible (avec L. Miller et J. Reschitzki)	382
XI Constructions d'arrangements spatiaux et d'équidistances (avec E. Mayer et M. Levy).....	383
XII La construction des triangles (avec I. Berthoud-Papandropoulou et H. Kilcher).....	385
XIII Construction de formes par utilisation du compas (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher).....	387
Conclusions générales	388



9. Le possible et le nécessaire. II : L'évolution du nécessaire chez l'enfant

Introduction 394

Chapitres :

I Un problème de nécessité physique (avec R. Zobel
et E. Rappe du Cher) 395

II Le nécessaire et l'impossible en des compositions de rotations
(avec A. Blanchet et D. Crapon de Caprona)..... 398

III La construction d'une pente (avec C. Monnier et A. Boder)
400

IV Les nécessités relatives à la mesure des longueurs
(avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis) 403

V L'associativité des longueurs (avec C. Coll et E. Marti)405

VI Multiplication et associativité multiplicative
(avec I. Berthoud-Papandropoulou et H. Kilcher)..... 406

VII La distributivité (avec A. Henriques-Christophides) ... 409

VIII Conditions nécessaires et suffisantes dans la constitution
de preuves (avec C. Brulhart et S. Dionnet, section I
et A. Henriques-Christophides, section II)..... 411

IX La preuve par informations se conditionnant mutuellement
(avec J. Vauclair et E. Marbach) 412

X Un cas de limitation nécessaire (avec A. Henriques-
Christophides et D. Maurice)..... 414

Conclusions générales 415

10. Les formes élémentaires de la dialectique

Introduction 419

Chapitres :

I Vers la circularité dialectique la plus générale
des connexions logiques (avec M. Sakellaropoulo
et A. Henriques-Christophides) 420

II Un exemple élémentaire de dialectique logico-mathématique.
Problèmes d'égalisations et construction de différences
(avec A. Henriques-Christophides et D. Maurice) 426



III Un système de déplacements spatio-temporels (avec R. Zubel et E. Rappe du Cher)	429
IV D'un ordre direct à son inverse (avec A. Boder et D. Crapon de Caprona)	430
V Le système multitransformationnel de pivotements (avec A. Blanchet et C. Coll).....	432
VI Dialectique et conservations spatio-numériques (avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis)	434
VII Les aspects dialectiques de la construction d'un objet (avec I. Berthoud-Papandropoulou et H. Kilcher).....	436
VIII La découverte des deux sortes de règles suivies par un partenaire (avec M. Bovet et C. Monnier).....	437
IX Un cas d'interdépendance entre les actions exploratrices du sujet (avec A. Wells et L. Banks)	439
X Dialectique et perspectives (avec A. Ritter)	441
XI La dialectique face à des relations incompréhensibles (avec S. Dionnet et M. Zinder).....	442
Conclusions générales	443
11. Vers une logique des significations	
Considérations préalables.....	448
Introduction	448
Chapitres :	
I Significations et implications au sein des conduites instrumentales (avec D. Crapon de Caprona et A. Ritter).....	452
II Les déplacements au sein d'une structure d'arbre (avec C. Monnier et C. Vachta)	453
III Le carrelage (avec B. Vitale et M. Zinder)	454
IV Implications et significations arithmétiques (avec I. Berthoud et H. Kilcher).....	455
V Les liaisons intraobjectales (avec R. Zubel et G. Merzaghi)	457
VI La négation et l'incompatibilité interobjectales (avec L. Banks et A. Wells)	459
VII Le cannage (avec G. Piéraud-Le Bonniec et E. Rappe du Cher)	460
VIII Significations d'assemblages (avec A. Henriques, D. Maurice	



et V. Vacq).....	461
IX Classifications et symétries (avec S. Dionnet, J. Guyon et A. Sinclair)	463
Conclusions de la première partie.....	464
Conclusions générales (par R. Garcia).....	466
Conclusions.....	468
a. Recherches sur les mécanismes de construction.....	469
b. Dialectique entre mises en correspondance et transformations	484
c. Le possible et le nécessaire : recherches sur l'évolution créatrice et intégratrice des connaissances et de l'intelligence.....	487
d. Dialectique et logique des significations.....	491
e. Remarques finales.....	497
Index des notions.....	502
Bibliographie.....	536

Avant-propos

En publiant cette présentation très exhaustive des travaux réalisés au Centre international d'épistémologie génétique entre 1968 et 1979, le Service de la recherche en éducation veut rendre hommage, 20 ans après son décès, à un savant, Jean Piaget, envers lequel l'école publique genevoise a une dette certaine, ne serait-ce que par le rôle qu'il a joué pendant des décennies dans la formation de ses enseignants. Mais une raison plus pédagogique justifie cette publication.

De toutes les œuvres et théories psychologiques qui ont marqué le monde de l'enseignement au cours du siècle qui s'achève, celle de Jean Piaget est probablement la plus importante, à la fois par le nombre de transformations de systèmes éducatifs inspirées de ses conceptions et par la multiplicité de ses apports. La fonction de directeur du Bureau international de l'éducation (BIE) que Piaget a assumé pendant plusieurs décennies illustre d'ailleurs l'impact international que celui-ci a pu avoir sur les politiques de l'éducation. Son œuvre a influencé le monde de l'enseignement de deux façons. Premièrement, en démontrant le rôle crucial des activités personnelles et partagées des enfants et des adolescents dans l'acquisition des connaissances et dans celle d'une morale basée sur le respect mutuel, elle a donné une base scientifique solide au mouvement de l'école active. Deuxièmement, en décrivant la succession des stades d'acquisition des connaissances logico-mathématiques et physiques élémentaires chez l'enfant et l'adolescent, elle a fourni aux didactiques des disciplines un cadre psychologique et épistémologique permettant d'élaborer des objectifs d'enseignement mieux adaptés aux compétences cognitives profondes des élèves.

Mais là ne doit pas s'arrêter l'apport de Piaget. Les résultats de ses ultimes recherches, qui, de 1968 à 1979, ont pour l'essentiel porté sur les mécanismes de construction cognitive, ont une portée pédagogique et didactique aussi grande que celles, classiques, sur le développement de l'intelligence et du jugement moral de l'enfant et de l'adolescent. Ils permettent de mieux comprendre comment les enfants et les adolescents s'y prennent pour construire des instruments plus puissants d'organisation, d'explication ou encore de transformation du réel. En rendant plus accessibles ces résultats, le Service de la recherche en éducation souhaite inciter les chercheurs et les enseignants à développer et à utiliser les implications qu'ils contiennent.

Norberto BOTTANI
Directeur du SRED



Introduction

Piaget est, après Freud, l'auteur le plus célèbre et le plus cité de la psychologie du XX^e siècle. Son œuvre, immense, porte sur des domaines scientifiques variés : non seulement la psychologie, mais aussi la biologie, la sociologie, l'épistémologie et la logique, sans compter un certain nombre de travaux et de réflexions relevant de la philosophie et de la pédagogie. En dépit de cette variété, une profonde unité la traverse qui tient au petit nombre d'interrogations fondamentales portant sur la nature et l'origine des formes biologiques et psychologiques (spécialement cognitives et logico-mathématiques, mais aussi morales), ces interrogations étant d'ailleurs étroitement reliées les unes aux autres.

L'œuvre piagétienne ne se caractérise pas seulement par la multiplicité des disciplines concernées. Elle contient un nombre impressionnant d'articles ou de livres, dont les premiers ont été publiés dans les années 1910 et les derniers dans les années 1980 (soit après la mort de l'auteur). Face à la double multiplicité de domaines concernés et d'écrits publiés, on comprend sans peine que cette œuvre soit difficile à assimiler, qu'elle ait donné lieu à un grand nombre de malentendus ou qu'on ait parfois la tentation de la réduire à quelques slogans. Prolongeant d'autres travaux portant, eux, sur la totalité de l'œuvre, le présent ouvrage a pour but de faciliter l'accès aux recherches de la dernière décennie, centrées principalement sur les mécanismes de construction cognitive, mais qui apportent aussi un regard complémentaire, plus fonctionnel, à l'approche essentiellement structurale des études plus anciennes sur la genèse de l'intelligence et des connaissances chez l'enfant. Outre la complexité due aux problèmes théoriques considérés, cette dernière partie, qui couvre les années 70, est d'autant plus malaisée à approcher que les écrits qui la résument sont difficiles à trouver (certains ouvrages sont épuisés).

Nous ne considérerons cependant pas dans ce qui suit la totalité des écrits publiés dans les années 70. Seuls feront l'objet d'un examen détaillé les onze études et ouvrages dans lesquels leur auteur expose les résultats des nombreuses enquêtes psychogénétiques conduites sous sa direction au Centre international d'épistémologie génétique pendant cette ultime décennie de recherche¹. En plus de ces ouvrages, Piaget a rédigé ou co-rédigé un certain nombre de livres dans lesquels il dresse une synthèse théorique de ses conceptions sur l'évolution des formes biologiques et cognitives, ainsi que sur l'origine et la nature des connaissances scientifiques. Avant de décrire la démarche que nous avons adoptée pour tenter de faciliter l'accès aux

¹ Le CIEG a été créé en 1955 par Piaget. En plus des collaborateurs psychologues attachés au Centre, chaque année plusieurs savants, logiciens, mathématiciens, physiciens, biologistes, etc., étaient invités à participer soit aux recherches expérimentales ou théoriques conduites pendant les mois précédents, soit au symposium final lors duquel étaient exposés et discutés ces travaux. On trouvera plus d'informations sur le CIEG comme d'ailleurs sur l'ensemble de l'œuvre piagétienne dans Jean Piaget, biographie intellectuelle (Ducret, 1990) et dans le CD-Rom Jean Piaget, cheminements dans l'œuvre scientifique, édité par la FPSE et le SRED à Genève.



travaux des années 70, donnons tout de même un bref aperçu du contenu de ces études synthétiques.

Celles-ci portent chacune sur l'un des trois niveaux phylogénétique, psychogénétique ou sociogénétique de construction des formes biologiques et cognitives. Ainsi, dans *Le comportement, moteur de l'évolution* (publié en 1976), l'auteur expose sa conception, originale et qu'il reconnaît être spéculative, du mécanisme par lequel l'adaptation individuelle des organismes à leur milieu a pu guider la construction des formes biologiques lors de l'évolution des espèces. Il s'agit d'une sorte de tertium entre le néo-darwinisme, avec la place qu'il attribue aux populations d'individus, au hasard (ou au « bruit ») et à la sélection naturelle dans l'explication de cette évolution, et le néo-lamarckisme, qui place au contraire l'adaptation individuelle et le comportement au cœur de cette explication. D'autre part, toujours dans le même ouvrage, Piaget s'appuie sur le résultat d'expériences ou d'observations conduites par lui, tant en zoologie qu'en botanique, pour suggérer la présence, parmi les mécanismes de l'évolution phylogénétique, de processus qui partagent des traits généraux communs avec les mécanismes découverts sur le terrain des enquêtes psychogénétiques et qui sont producteurs des formes logico-mathématiques sur le plan de l'intelligence sensori-motrice, puis représentative.

Publié en 1975, le deuxième ouvrage synthétique a pour objet l'équilibration majorante et un certain nombre de mécanismes qui lui sont associés et que nous retrouverons dans les chapitres suivants. Comme son titre l'indique, *L'équilibration des structures cognitives, problème central du développement*, cette étude porte essentiellement sur les processus en partie au moins psychologiques par lesquels ce que l'on appelle « le sujet » constitue les formes cognitives se succédant au cours de son développement, et que les anciennes enquêtes psychogénétiques sur la genèse des notions et des opérations logiques, numériques, spatiales, temporelles et physiques avaient mises à jour chez l'enfant et l'adolescent. Vu le lien étroit entre la rédaction de cet ouvrage et les onze études expérimentales dont il sera question dans la suite, il aurait peut-être été opportun de présenter cette étude synthétique aux côtés des autres. Trois raisons font que nous ne l'avons pas fait. La première est qu'il existe un recouvrement au moins partiel avec plusieurs de ces onze études. La seconde est que, vu son importance théorique, l'ouvrage sur *L'équilibration des structures cognitives* est largement disponible, sinon dans les librairies, du moins dans les bibliothèques. Enfin, et surtout, un examen relativement détaillé de cet ouvrage très dense ferait largement exploser les limites du présent travail. Il nous contraindrait, en effet, non seulement à rappeler longuement les anciennes recherches de Piaget sur le développement de l'intelligence sensori-motrice de ses trois enfants (il y est en effet largement question de la théorie des schèmes et des notions d'assimilation et d'accommodation qui lui sont associées), mais aussi à résumer de manière assez détaillée les travaux de la fin des années 60 sur la genèse de la causalité chez l'enfant et l'adolescent. Bref, tout chercheur, enseignant ou étudiant qui voudra se faire une idée plus complète de la théorie constructiviste et de la notion d'équilibration majorante ne pourra faire l'économie de la lecture de cette étude de 1975.



Enfin, paru en 1984, soit quatre ans après la mort de l'auteur, le troisième ouvrage de synthèse, *Psychogénèse et histoire des sciences*, est une tentative de démontrer comment certains mécanismes de construction mis à jour dans les études psychogénétiques dont il sera ici question ont également agi dans le passé sur le plan de la construction des sciences algébriques, géométriques et physiques, donc lors de la sociogénèse des sciences. Cet ouvrage, de lecture au demeurant agréable pour qui s'intéresse à l'épistémologie et à l'histoire des sciences, ne pose aucun problème d'accès. On le trouvera dans la collection de la «Nouvelle bibliothèque scientifique» chez Flammarion.

En plus de ces trois études synthétiques, Piaget a rédigé, seul ou avec ses proches collaborateurs, dont Inhelder, des articles qui concernent la biologie, la psychologie, l'épistémologie, mais aussi la pédagogie. L'un d'entre eux concerne spécialement notre présentation ultérieure des onze ouvrages rapportant les recherches faites au CIEG entre l'été 1968 et l'été 1979. Il s'agit de l'article « Des structures aux procédures », dans lequel Inhelder et Piaget proposent un nouveau cadre notionnel, plus apte à cerner le fonctionnement de l'intelligence que l'ancien cadre spécialement adapté à la description des structures opératoires. Cet article couvrant quelques-unes de ces recherches, nous aurons l'occasion de l'évoquer le moment venu.

Venons-en maintenant à la démarche adoptée pour présenter les onze ouvrages auxquels nous allons dès lors nous attacher. Comme nous l'avons fait dans la « Présentation critique de l'œuvre de Jean Piaget » (insérée dans le CD-Rom *Jean Piaget*), nous allons largement nous inspirer d'une analogie cartographique pour présenter les travaux réalisés au CIEG entre 1968 et 1979. L'objectif visé est de fournir une sorte de modèle réduit de l'œuvre, dans lequel le lecteur puisse apercevoir l'essentiel des résultats expérimentaux recueillis et des concepts et thèses leur donnant sens. En d'autres termes, notre but est que le lecteur puisse à travers la lecture des quelque 500 pages qui suivent se faire une idée tout à la fois approximative et précise des 2500 pages dont sont composés les onze ouvrages originaux. L'image ou l'idée devrait être approximative dans le sens où, comme pour une carte géographique par rapport au territoire qu'elle représente, il n'est pas question d'y retrouver la totalité des exposés de résultats, des thèses et autres définitions et discussions propres aux originaux (le faire serait se retrouver avec un nombre de pages équivalent à la partie de l'œuvre traitée). Mais elle devrait être, par ailleurs, précise dans la mesure où les thèses et les exposés résumés dans les chapitres suivants ne devraient poser aucun problème majeur d'interprétation (objectif parfois difficile à atteindre, tant il est vrai que certains passages des ouvrages originaux semblent eux-mêmes soulever des problèmes de compréhension plus ou moins ardu).

Poursuivons notre métaphore. Il est évident que la carte d'un pays (ou sa photographie prise depuis une attitude élevée) ne revient pas à la découverte « pas à pas » de ce pays ; elle livre néanmoins des informations pertinentes par rapport à celui-ci, qui peuvent d'ailleurs parfois s'avérer originales par rapport à la découverte « pas à pas ». De façon similaire, le résumé des ouvrages de la dernière décennie ne saurait permettre de faire l'économie d'une prise de connaissance directe des travaux inté-



ressant particulièrement tel ou tel lecteur. Il devrait pourtant fournir à celui-ci une idée, certes incomplète mais fidèle, des ouvrages originaux. Le caractère inévitablement lacunaire de notre présentation pourrait être pourtant compensé, d'une part par l'acquisition d'une familiarité minimale par rapport à chacun des onze thèmes de recherches, et d'autre part par la plus grande proximité mutuelle des thèses ou des notions exposées dans chacun des ouvrages originaux et représentées dans les chapitres suivants.

La métaphore cartographique qui nous guide dans ce travail de présentation de l'œuvre est également utile si l'on considère non plus les similitudes mais les différences entre la construction d'une carte et celle de nos résumés, différences qui tiennent à la nature des réalités en jeu. Dans le cas de la représentation cartographique, sa fiabilité est en principe pratiquement parfaite, puisqu'elle peut être réalisée au moyen d'instruments physiques qui ne laissent aucune place à la subjectivité, exception faite naturellement du choix de l'échelle (nous avons naturellement ici en vue la carte géographique d'un pays). Au contraire, lorsqu'il s'agit de fournir une « image réduite » d'une œuvre telle que celle considérée ici, deux difficultés insurmontables se présentent, toutes deux liées au caractère fortement subjectif d'un tel travail. Premièrement, il n'existe pas d'instruments permettant une réduction mécanique, « aveugle », de l'œuvre à résumer. On est ici confronté au même problème que celui que l'on rencontre sur le plan de la traduction de textes d'une langue dans une autre, et auquel s'applique le jeu de mot italien bien connu : « *traduttore, traditore* » (« le traducteur est un traître »). Mais de plus, l'objet dont nous nous efforçons de fournir une image réduite est composé pour une bonne part de thèses et de conceptions sur lesquelles d'importants désaccords sont possibles, qui touchent à notre conception profonde de l'humain. Dans le cas qui nous occupe, nous sommes heureusement fort souvent en accord avec ce que nous croyons être les thèses de Piaget. Mais il arrive que certaines d'entre elles ne nous convainquent pas, ou encore que nous jugions obscures quelques-unes de ses affirmations. En pareils cas, nous ne nous priverons pas de compléter le résumé visé par des remarques qui signalent nos réserves, ou d'esquisser une interprétation personnelle. En d'autres termes, le résumé que nous livrerons des travaux des années 70 a le statut d'une « présentation critique » dans laquelle, tout en cherchant à être le plus fidèle aux thèses exposées, nous prendrons parti.

Toujours à propos de la démarche adoptée ici, notons encore que la présentation des onze ouvrages se fera non pas dans l'ordre chronologique de leur parution, mais dans celui des recherches conduites au CIEG entre 1968 et 1979. Chaque année un thème était proposé par Piaget, parfois dans le prolongement direct des travaux de l'année précédente. Un tel lien de succession permet de regrouper huit des onze années (ou thèmes) de recherches en quatre couples. Quant au trio d'années de recherche qui échappent partiellement à cette logique, elles peuvent elles aussi être rapprochées deux par deux les unes des autres. Voyons cela de plus près. Les années 1968-69 et 1969-70 sont consacrées à la prise de conscience et au rapport entre réussir et comprendre. 1970-71 porte sur le thème de la contradiction, qui sera en un sens repris en 1977-78, année consacrée aux « formes élémentaires de la dialectique », mais alors



dans la nouvelle optique d'une « logique des significations ». Entre-temps, Piaget et ses collaborateurs se seront tour à tour penchés sur les mécanismes d'abstraction réfléchissante et de généralisation (1971-72 et 1972-73), puis, de 1973 à 1975, sur les correspondances, ainsi que sur les morphismes et les catégories, et enfin, de 1975 à 1977, sur l'évolution du possible et du nécessaire. Quant à la dernière année des recherches dirigées par Piaget au CIEG (soit de l'été 1978 à l'été 1979), elle aura pour objet la « logique des significations », thème qui s'inscrit assez directement (même si non explicitement) dans le prolongement de la recherche de l'année précédente sur les formes élémentaires de la dialectique.

Nous verrons par la suite jusqu'à quel point ces différents thèmes de recherches, à première vue un peu disparates lorsqu'ils ne forment pas directement couple, s'évoquent mutuellement et se relient les uns aux autres. Mais disons d'emblée que la profonde unité qui parcourt l'ensemble des recherches des années 70 (auxquelles s'ajoutent celles sur la prise de conscience) tient à la place qu'y prend un constructivisme tout à la fois épistémologique et psychologique. Ce qui intéresse alors avant tout l'auteur, ce sont les processus créateurs de l'intelligence et de la connaissance, processus qui se produisent non seulement sur le plan des coordinations matérielles des actions, mais également sur celui des significations et des « implications significatives ».

Pour bien appréhender le résumé qui suit, une certaine connaissance de l'œuvre antérieurement édifiée – notamment des travaux sur l'intelligence sensori-motrice puis sur l'intelligence opératoire – apparaît nécessaire. Vu la dimension de ce document, il n'est pas possible de les présenter ici. Il existe de multiples résumés que le lecteur relativement novice pourra trouver en librairie (dont les études que nous avons mentionnées plus haut sur la biographie intellectuelle et sur la totalité de l'œuvre de Piaget). Disons seulement que la grande leçon des recherches antérieures de psychologie et d'épistémologie génétiques réside certainement, d'une part dans la mise en évidence de structures logico-mathématiques d'actions puis d'opérations, ainsi que des notions logiques, arithmétiques, spatiales, physiques, etc., qui leur sont reliées, et d'autre part dans la mise en évidence du rôle essentiel de ces structures (et de leurs précurseurs) dans l'organisation des conduites du sujet et dans l'organisation des mondes physique, biologique et social dans, et avec lesquels, il vit et interagit. Dans le rapport qu'il entretient avec la réalité extérieure, mais aussi d'ailleurs avec lui-même, le sujet ne cesse de mettre en relation, de classer, de déplacer, d'informer (au sens de mettre en forme), de transformer et même de créer les objets de cette réalité. Comment le fait-il à chaque étape du développement de son intelligence et de ses connaissances ? C'est à cette question que les multiples enquêtes sur la psychogenèse de l'espace, du temps, de la logique, du nombre... chez l'enfant et l'adolescent apportent des réponses qui, toutes, révèlent le rôle des systèmes organisés d'actions et des structures d'opérations. Nous verrons que la particularité des recherches des années 70 est de s'être centrées non plus sur la mise en évidence de ces structures et de leur genèse, mais sur les mécanismes de construction, rendus plus ou moins manifestes en confrontant les sujets de différents niveaux de développement cognitif à des problèmes très variés.



Terminons cette introduction par quelques remarques au sujet des limites de ce travail. La première concerne les âges des enfants mentionnés dans les chapitres suivants. Ces âges ne doivent être pris que comme des indications très générales, qui signalent de manière très approximative dans quelle fourchette se trouvent les conduites ou les réponses de tel ou tel niveau. Ce qui était déjà valable des recherches classiques sur le développement des notions d'espace, de temps, de nombre, etc., en ce qui concerne la valeur à donner aux indications d'âges, le devient encore plus dans un contexte où ce sont des mécanismes de construction qui sont en jeu, et où le questionnement structural passe à l'arrière-plan.

Une deuxième limite de ce travail concerne la description des tâches ou des problèmes auxquels les enfants ont été confrontés dans les différentes recherches considérées. Cette description est incomplète : toutes les situations expérimentales ne sont pas exposées, et celles qui le sont font l'objet d'une présentation le plus souvent très rudimentaire.

Enfin, une dernière remarque a trait à la conformité des titres donnés dans nos résumés par rapport à ceux que l'on pourra trouver dans les ouvrages originaux. Les titres des ouvrages et ceux de leurs chapitres sont en principe respectés. Par contre, les découpages que nous faisons à l'intérieur de chaque chapitre peuvent ne pas correspondre aux découpages originaux.



Liste des onze ouvrages présentés

1. La prise de conscience (1968 -1969)
2. Réussir et comprendre (1969 -1970)
3. Recherches sur la contradiction (1970 -1971)
4. Recherches sur l'abstraction réfléchissante (1971 -1972)
5. Recherches sur la généralisation (1972-1973)
6. Recherches sur les correspondances (1973 -1974)
7. Morphismes et catégories (1974 -1975)
8. Le possible et le nécessaire. I : L'évolution des possibles chez l'enfant (1975 -1976)
9. Le possible et le nécessaire. II : L'évolution du nécessaire chez l'enfant (1976 -1977)
10. Les formes élémentaires de la dialectique (1977 -1978)
11. Vers une logique des significations (1978 -1979)

(Les années entre parenthèses sont celles au cours desquelles les recherches se sont déroulées ; on trouvera les dates de parution de ces ouvrages dans la bibliographie, pp. 536 et 537.)



1. La prise de conscience

Avant-propos

L'ouvrage sur la prise de conscience est une étape charnière dans l'œuvre de Piaget, dans la mesure où il clôt le programme des études sur le développement de la causalité chez l'enfant, et où par ailleurs il annonce les recherches à venir sur les mécanismes du développement cognitif. On remarquera aussi, et Piaget le souligne lui-même, que pour la première fois des recherches portant sur des processus, et non pas le développement de notions épistémiques, sont conduites au Centre international d'épistémologie génétique. Certes des travaux sur les rapports entre apprentissage et développement des structures opératoires avaient déjà été conduits vers la fin des années 50, mais il s'agissait moins alors d'étudier un processus que de montrer que l'application de procédés d'apprentissage de nature empirique (par répétition et par « punition et récompense ») ne se traduisait par aucun progrès dans les savoirs et les savoir-faire opératoires.

Pour quelle raison Piaget décide-t-il de mettre au programme de son Centre d'épistémologie l'étude d'un processus, la prise de conscience, qui relève apparemment plus de la psychologie que de l'épistémologie ? Une première raison est fournie par l'auteur dans son avant-propos (qui fait aussi office d'introduction à cette publication). Que ce soit les recherches réalisées dans les années 20 sur le développement de l'intelligence sensori-motrice chez le bébé ou les nombreuses recherches consacrées à la genèse des explications physiques chez l'enfant de 5 à 14 ans environ, dans les deux cas il s'est avéré que l'action propre était à l'origine, tant de la saisie des rapports de causalité entre objets chez le bébé de huit mois et plus, que des explications physiques préopératoires puis opératoires chez les enfants de 5 ans et plus. Dans les deux cas, c'est donc du côté du sujet et non pas de l'objet que se trouve la source de l'explication physique. En ce sens, l'épistémologie génétique paraissait rejoindre l'une des grandes réponses classiques apportées au problème épistémologique de l'origine de la causalité. Celle-ci se réduirait-elle à la conscience immédiate que le sujet a, non pas de son propre pouvoir de volonté, comme le soutenait Maine de Biran, mais de celui de l'action propre ? C'est pour contrecarrer ce type de réponse, contraire à la thèse constructiviste, qu'une recherche sur la genèse de la prise de conscience de l'action propre s'imposait. Cette prise de conscience est-elle immédiate ou dépend-elle d'une construction ? La prise de conscience de l'action propre précède-t-elle l'explication des phénomènes physiques ou les deux s'acquièrent-elles simultanément, en interaction ? Tel est le type de question qui était au point de départ de cette recherche sur la prise de conscience, mais qui s'est également rapidement élargi, non plus seulement au champ de l'explication physique, mais à la question des rapports entre action et pensée (ou « conceptualisation », pour prendre un terme philosophiquement plus neutre).



Mais d'autres facteurs sont aussi certainement intervenus dans le choix du thème de la prise de conscience. D'abord l'intérêt pour la prise de conscience n'est pas nouveau chez Piaget. On trouve des références à celle-ci tout au long de son œuvre. D'autre part, dès la fin des années 60, il commence à réfléchir à un programme de recherche qui ne porterait plus sur le développement des notions scientifiques chez l'enfant et dans la science, mais sur les « mécanismes du développement » (l'abstraction réfléchissante, les régulations, etc.), qui jusqu'alors ont toujours été considérés d'un point de vue presque exclusivement théorique. Or l'abstraction réfléchissante accorde une place particulière au passage de l'action à la pensée, ou de la causalité des actions aux implications conscientes. Dès lors, même si Piaget avait pu s'attaquer d'emblée à des thèmes plus résolument épistémologiques tels que ceux du statut de l'abstraction réfléchissante ou de la contradiction dans la pensée (objets de recherches à venir), on peut comprendre qu'il ait considéré comme utile de se pencher d'abord sur le rôle de la prise de conscience, s'il est vrai que le passage de l'action à la réflexion est l'une des manifestations les plus claires du développement cognitif².

Dans ce qui suit, nous ne résumerons que de manière très succincte l'ensemble des chapitres dans lesquels sont exposées les analyses des solutions ou des réponses des enfants aux problèmes qu'on leur pose. Les résultats sont en effet très similaires d'un chapitre à l'autre et il suffit de prendre connaissance de l'un d'entre eux pour que l'on puisse se faire une idée assez précise de ce que l'on trouvera dans les autres, une fois connues les tâches auxquelles les enfants sont confrontés. On s'arrêtera pourtant chaque fois qu'il le faut sur certaines spécificités de description ou d'interprétation apportées par certains chapitres³.

² On peut aussi mentionner à titre de facteur important le rôle joué par le paradigme de l'« *information processing theory* » et de l'intelligence artificielle dans la redéfinition des objets de la psychologie. Ces deux disciplines remettaient au cœur de la psychologie le thème de la résolution de problèmes et de l'intelligence pratique. Piaget ne pouvait pas rester sourd à ce qui se passait sur ce plan-là, ses collaborateurs les plus proches, Inhelder et Cellérier ayant engagé avec leurs assistants des recherches sur ce sujet.

³ Rappelons que si les titres des chapitres sont les mêmes que ceux des ouvrages originaux, il n'en va pas forcément de même de ceux des sections à l'intérieur de chaque chapitre.



Chapitre premier : La marche à quatre pattes (avec A. Henriques)

a. Le problème

La situation est la suivante. On prie le sujet de marcher à quatre pattes, puis on lui demande comment il a procédé. Ensuite on lui demande de formuler des instructions indiquant comment faire pour que l'expérimentateur (ou une poupée) marche à quatre pattes. Enfin on prie l'enfant de suivre lui-même la démarche qu'il a préalablement décrite. On peut en outre le stopper au cours d'une telle marche pour lui demander de décrire le dernier mouvement qu'il a effectué.

b. Résultats et conclusions

Piaget décrit avec précision les résultats des stades I (4-6 ans environ) et II (7-10 ans). Inutile de dire que les descriptions des enfants les plus jeunes n'ont que peu de choses à voir avec les mouvements réellement produits par eux (les adultes eux-mêmes, surtout s'ils ont l'esprit logique plus que physique, ont quelque peine à le faire). Mais il arrive qu'au niveau IB (vers 5-6 ans) le sujet, après avoir décrit faussement sa marche, ajuste ses mouvements à ce qu'il est en train d'exposer verbalement. En ce cas, « il n'y a [...] pas prise de conscience conceptualisée d'une action antérieure, mais au contraire influence de la conceptualisation sur l'action ultérieure [ou en cours ?] » (p. 15). Un réglage actif prend le pas sur les régulations automatiques se produisant au niveau sensori-moteur.

Le procédé de la marche à quatre pattes est correctement décrit au stade II. La question qui se pose alors évidemment est de savoir ce qui permet ce progrès de la prise de conscience (la marche étant elle réussie dès le stade I et même avant). Pour Piaget, ce succès tient au fait plus général que les enfants qui parviennent au niveau opératoire sont capables de rétroagir sur les actions, de les compenser activement, et cela grâce à des coordinations inférentielles. En d'autres termes, l'observation de l'action propre est, comme celle de la réalité extérieure, conditionnée par la construction d'un cadre conceptuel adéquat de classifications et de mises en relation.

Chapitre II : Le trajet d'un projectile lancé par une fronde (avec M. Flückiger)

a. Le problème

Deux situations sont utilisées dans cette recherche. Dans un cas l'expérimentateur commence par faire tourner sur le sol, dans un sens ou dans l'autre, une balle attachée au bout d'une ficelle en demandant à l'enfant où elle partira s'il la lâche. Puis il demande à l'enfant de faire tourner lui-même la balle et de la lâcher. Enfin l'enfant est prié de faire tourner la balle puis de la lâcher de telle manière qu'elle atteigne un but fixé d'avance (une boîte se trouvant à 12h et l'enfant à 6h sur un cercle virtuel les reliant, le projectile doit être lâché à 9h ou à 3h environ, selon le sens de rotation de la ficelle et de la balle).



Dans le second cas, l'expérimentateur demande directement à l'enfant de faire tourner la balle sur le sol puis de la lâcher pour qu'elle arrive dans la boîte.

Le problème pour les enfants consistera à prendre conscience qu'il n'y a pas deux actions en jeu, comme il le croit dans les premiers niveaux (faire tourner la balle et la lancer pour qu'elle atteigne le but), mais une seule.

b. Les résultats

Dès le niveau IA (4-5 ans environ), les enfants parviennent à atteindre le but par tâtonnement. Par contre, leurs descriptions de la direction de la balle, qu'on la lâche avec ou sans but, sont incorrectes. Parmi les résultats intéressants de ce niveau, il y a le fait que, dans sa description, le sujet se donne comme contrainte la nécessité pour la balle de partir de là où il se trouve (le lâcher devrait donc se faire à 6h pour atteindre l'objet situé à 12h), et la nécessité pour lui-même de se placer face au but.

Au niveau IB les enfants peuvent admettre que la direction que va prendre le projectile dépend du sens de rotation donné à la ficelle et à la balle, ou encore qu'il n'est nul besoin de se placer face à la boîte pour lancer la balle. Il y a donc progrès dans la description de ce qui se passe, mais très partiel, et insuffisant pour que le sujet décrive correctement le lâcher de balle à 9h ou à 3h (pour atteindre la boîte placée à 12h).

Au niveau IIA (7-8 ans environ) les anticipations ou les explications relatives à l'endroit où il faut lâcher la balle pour atteindre le but sont toujours incorrectes (la balle devrait partir, ou est partie, à 12h pour atteindre la boîte située plus loin, également à 12h). Après remarque de l'expérimentateur, des solutions intermédiaires sont trouvées. Piaget signale aussi une sorte de contradiction (ou plutôt une absence de coordination) chez ces sujets qui, d'une part, affirment que lorsqu'on lâche la balle, celle-ci part dans la direction de la tangente et non pas perpendiculairement à celle-ci, et, d'autre part, anticipent ou expliquent faussement la manière de procéder pour atteindre le but. Il souligne enfin la contradiction encore plus évidente entre leurs actions et les représentations qu'ils s'en font⁴. L'hiatus est alors expliqué par la conception incomplète que se fait l'enfant de la direction prise par les mouvements des corps (par d'« insuffisantes coordinations vectorielles », p. 29). Cette conception erronée du mouvement entraîne le sujet à refouler des observables évidents (que certains enfants de niveau IA décrivaient correctement, dans la mesure où, précisément, ils ignoraient le problème posé par le lancer orienté vers un but).

Au niveau IIB, après de premières erreurs au niveau des anticipations et des descriptions initiales, les sujets se corrigent et parviennent à des prises de conscience de plus en plus exactes. Par contre le dessin des trajectoires est erroné, représentant par exemple une courbe partant de la position 9h pour atteindre la boîte. Qu'est-ce qui permet à ces sujets de prendre conscience que la balle part à 9h et non pas à 12h, comme ils le croient d'abord ? Pour Piaget cela est dû à l'apparition vers 9 ans « des premiè-

⁴ Dans la mesure où les recherches sur la prise de conscience montrent les nombreuses « contradictions » qu'il peut y avoir entre les actions et leurs représentations, on peut supposer qu'elles ont contribué à mettre au premier plan le problème des contradictions qui sera effectivement traité au CIEG l'année qui suit celles des recherches sur la prise de conscience (et sur les rapports entre « réussir » et « comprendre »).



res compositions directionnelles ou vectorielles liées à la construction des systèmes naturels de coordonnées » (p. 30 ; l'auteur a certainement en vue ici le résultat des recherches sur la causalité opératoire). Plus précisément, puisqu'il ne s'agit pas seulement d'explication, mais d'une action et de sa prise de conscience, le sujet doit concevoir que la direction de la balle vers le but peut être identifiée avec la direction du mouvement de la balle lors de son lâcher. Mais cette identification est loin d'être totale, puisque les sujets du niveau IIB pensent encore à des mouvements en deux temps (les dessins des enfants contiennent des coudes ou des angles significatifs).

Ce n'est qu'au troisième stade, vers 11-12 ans, qu'il y a d'emblée prise de conscience des conditions d'un lâcher correct. En un niveau IIIA pourtant, les dessins des trajectoires peuvent encore comporter des courbes, mais homogènes, ce qui indique qu'il n'y a plus pour ces sujets qu'une seule action de « faire tourner » « qui, du fait du lâchage, se prolonge en une courbe [parce qu'elle] a tendance à continuer son cercle » (p. 33).

c. Conclusions

Ce que montrent les résultats de cette recherche, c'est une prise de conscience initialement erronée, en raison, entre autres, d'une contradiction entre la croyance (correcte) que la direction prise par la balle suit la tangente du cercle autour duquel elle tourne, et la conviction que le lâcher s'est fait ou doit être fait perpendiculairement au cercle, à la position 12h. Par contre la prise de conscience devient correcte « lorsqu'elle peut s'appuyer sur une coordination inférentielle ou opératoire » (p. 39). Entre les deux, il y a une période lors de laquelle le sujet procède à des coordinations conceptuelles incomplètes.

La fin des conclusions apparaît alors comme une anticipation des recherches à venir sur la contradiction, sur l'abstraction réfléchissante, sur les généralisations, et même sur les correspondances et les morphismes (à partir d'une brève discussion de l'abstraction réfléchissante) ! Retenons seulement de cette fin un peu touffue les deux points suivants, portant l'un sur le travail de classification qui permet de dépasser la contradiction, et l'autre sur l'abstraction réfléchissante.

On mentionnera tout d'abord la thèse selon laquelle la « coordination conceptuelle » diffère de la coordination des actions en ce que, si celle-ci engendre successivement des lâchers de balle possibles entre lesquels elle sélectionne, la première consiste en « une généralisation avec compréhension progressive de tous les possibles inhérents au dispositif donné et, ensuite seulement, application à l'action effectuée qu'il s'agit d'interpréter » (p. 41). En d'autres termes, le sujet parvient à une prise de conscience adéquate de son action dans la mesure où il étend progressivement les « référentiels » considérés (classe des départs obliques et classe des arrivées face à la boîte), jusqu'à pouvoir concevoir toutes les possibilités de lancement et d'arrivée (classe de tous les départs possiblement concevables, obliques aussi bien que tangentiels, classes de toutes les arrivées possibles, de face ou en oblique, etc.). Comme on le verra dans l'ouvrage exposant les recherches sur les contradictions, celles-ci peuvent en un sens être conçues comme clarifiant, généralisant et approfondissant ce qui s'offre dans la trop brève esquisse théorique résumée ci-dessus⁵.



Quant à ce que nous pouvons considérer comme une anticipation des recherches sur l'abstraction réfléchissante et les correspondances, nous la trouvons dans les deux derniers paragraphes. Piaget commence par y reformuler sous une forme un peu différente la thèse selon laquelle les coordinations inférentielles, donc aussi celles qui apparaissent dans cette recherche, sont tirées par abstraction réfléchissante des coordinations sensori-motrices. Cette abstraction, nous dit l'auteur, contient les deux formes du réfléchissement (d'un plan sur un autre) et de la réflexion réorganisatrice et constructrice sur lesquelles il reviendra plus tard. Mais il observe aussi une parenté entre ces deux caractères de la propriété « réfléchissante » (p. 42) : le réfléchissement produit un morphisme entre liaisons dans l'action et liaisons dans la représentation, et la réflexion met en correspondance ces liaisons conceptuelles avec d'autres « intervenant dans les autres cas possibles, ce qui revient à nouveau à construire des morphismes » (p. 42).

Ce qui précède montre à l'évidence qu'au moment où Piaget écrit cette conclusion, il est déjà en partie occupé à réfléchir à des problèmes qui ne sont plus liés étroitement au problème de la prise de conscience de l'action, mais qui touchent aux mécanismes de construction des structures cognitives.

Chapitre III : La marche en retour d'une balle de ping-pong et d'un cerceau (avec A. Henriques)

a. Le problème de la marche en retour

Ce problème est en quelque sorte l'inverse de celui de la fronde. Dans ce dernier, les sujets doivent prendre conscience qu'il n'y a pas deux actions en jeu, mais une seule, alors que dans la marche en retour d'une balle ou d'un cerceau ils doivent prendre conscience qu'en pressant d'une certaine manière l'objet on réalise simultanément deux actions hétérogènes (projection vers l'avant, rotation de sens inverse)⁶.

Pour étudier ce problème l'expérimentateur demande d'abord à l'enfant s'il est possible de lancer une balle de ping-pong de telle manière qu'elle revienne, sans collision, à son point de départ. Tous les sujets jugent la chose non possible. On leur demande d'essayer, et s'ils ne trouvent pas le truc, l'expérimentateur lance la balle de manière adéquate, d'abord derrière un écran et sans que le sujet puisse voir le départ de la balle, puis de façon visible. Les sujets constatent alors que la balle revient effectivement vers son point de départ. Après qu'on les a invités à essayer à nouveau, ce

⁵ Nous retrouverons dans les recherches sur la contradiction cet usage étendu de la notion de classification à laquelle se réfère Piaget pour rendre compte d'un développement cognitif. Mais on constate déjà ici combien la classification n'est plus seulement un genre très particulier de problèmes cognitifs posés aux enfants, mais un instrument essentiel au service de ses constructions cognitives. Elle apparaît très clairement comme une activité éminemment « transversale » pour reprendre un terme à la mode, puisqu'elle sert aussi bien au sujet à classer les observables sur ses actions, ceux sur les objets, ainsi que toutes les liaisons logiques qui dépassent ces observations (les possibles dont Piaget parle dans le passage mentionné plus haut).



qui leur permet assez vite de trouver le truc, les enfants sont priés de dire comment ils ont fait, ou encore de guider les actions de l'expérimentateur pour que celui-ci produise la marche en retour de la balle. Enfin, ils doivent décrire les mouvements et les trajectoires de l'objet, puis expliquer la marche en retour (la balle peut avoir deux parties de couleur différente de manière à faciliter la lecture de ses mouvements).

b. Les résultats

Contrairement aux enfants de niveau IA, ceux de niveau IB réussissent très vite, par imitation de l'action de l'expérimentateur, à faire revenir en arrière la balle (au niveau IA, l'enfant alterne les échecs et les réussites). Quant à la prise de conscience, au niveau IA il n'y a aucune mention des actions d'appuyer, de pousser, de faire glisser la balle, etc. (mais il peut mimer son acte et dire « j'ai fait comme ça »). Au niveau IB par contre, les sujets prennent conscience de certaines caractéristiques de leur action (« je mets mes doigts sur la balle et je les glisse par terre », p. 48), mais ils n'ont pas encore conscience qu'ils tirent en arrière la balle. C'est au palier IIA (vers 7 ans) que cette prise de conscience apparaît. Celle-ci reste pourtant encore incomplète dans la mesure où les sujets de ce niveau ne voient pas qu'en tirant ainsi la balle en arrière, tout en la propulsant en avant, ils lui impriment une rotation de sens contraire à ce dernier mouvement. En un mot, ils ne prennent pas conscience de l'effet opposé des deux actions imbriquées dans leur geste, relativement au déplacement de la balle. De plus, leurs observables sur l'objet sont systématiquement déformés : les enfants affirment voir une rotation directe, alors que la balle tourne déjà en sens inverse à l'aller. Dans le cas où l'expérimentateur choisit une balle blanche et noire pour rendre cette rotation inverse plus visible, certains d'entre eux arrivent pourtant à corriger leur première affirmation ; mais ils ne peuvent alors généraliser cette découverte aux situations où la balle de ping-pong est entièrement blanche. On voit par là que la lecture des observables est étroitement liée à la compréhension qu'ont les sujets du mouvement d'une balle sur une surface.

C'est seulement au niveau IIB (8-9 ans), et après de nombreuses affirmations contradictoires, que les sujets parviennent à comprendre et prendre conscience, mais de manière encore globale, qu'en pressant à l'arrière de la balle, ils lui impriment à la fois un mouvement en avant et une rotation de direction contraire. Pourtant, ils s'embrouillent encore lorsqu'il s'agit de mettre en rapport les différents observables relatifs à l'action propre et aux mouvements de translation et de rotation de la balle, d'où leurs hésitations, leur compréhension encore imparfaite, etc.

Au stade III enfin (11-12 ans), les coordinations inférentielles entre les différentes composantes intervenant dans le phénomène en question sont suffisamment complètes et stables pour permettre une lecture objective et la mise en relation complète des observables sur l'action et sur l'objet. Cette intervention des inférences est attestée par le recours à un facteur tel que l'élan (invisible, qui se conserve et se transmet) pour expliquer les faits correctement constatés.

⁶ L'usage du cerceau pour étudier le problème de la marche en retour a été fait dans une recherche complémentaire destinée à vérifier les étapes observées dans la recherche avec la balle de ping-pong. La technique et les résultats étant similaires, on peut s'en tenir dans ce qui suit au seul résumé de la recherche faisant usage de la balle de ping-pong.



c. Conclusions

Ces conclusions commencent par la présentation d'un tableau des fréquences des réponses de niveau IA, IB, IIA, IIB et III selon les âges. C'est, sauf erreur, le seul tableau de ce type dans la dernière décennie des publications de Piaget, et cela méritait d'être signalé ! Cela dit, ce qui est bien sûr le plus intéressant dans les travaux piagétiens ce ne sont pas les tableaux de fréquences (comme toujours ou presque, de tels tableaux n'offrent jamais de grandes surprises), mais les analyses et les conclusions auxquelles Piaget et ses collaborateurs sont conduits.

En l'occurrence, la première conclusion que l'auteur tire de la recherche sur le mouvement de retour de la balle de ping-pong porte sur la manière dont les observables sur l'action et sur l'objet interagissent au cours de l'évolution des conduites et des jugements. Ce qui le frappe, par rapport aux autres recherches, c'est que dans le cas présent, les découvertes sur l'action propre et sur les objets n'agissent qu'avec retard les unes sur les autres.

Deux problèmes sont considérés à cet égard. Le premier concerne la prise de conscience du mouvement de retrait du doigt sur la balle, et le deuxième, le fait que cette prise de conscience n'entraîne pas le constat immédiat de la rotation inverse de la balle. Pour ce qui est de la découverte du mouvement particulier du doigt, elle aurait sa source dans « les observables sur l'objet [éclairant] l'analyse de l'action propre » (p. 63 ; Piaget ne donne pas ici d'indications précises sur la façon dont se fait cet éclairage). Mais une fois ce mouvement découvert, comment se fait-il qu'il n'y a pas d'amélioration immédiate concernant l'observation de la rotation inverse de la balle ? C'est que la mise en rapport des observations sur l'action et sur l'objet est liée à des questions de causalité : le sujet cherche à s'expliquer comment son action produit le mouvement de l'objet, et il cherche aussi à s'expliquer la réaction pour le moins étrange de l'objet. C'est alors que surgit une contradiction entre la croyance, largement confirmée, selon laquelle lorsqu'une balle avance sur une surface, elle roule en avant, et le fait que le mouvement de la main imprime une orientation de sens contraire à la balle. C'est cette contradiction qui empêche l'observable sur l'action d'améliorer la lecture des mouvements de l'objet, alors même que les premiers échecs au niveau des mouvements de l'objet avaient entraîné une amélioration des observations sur l'action.

Dès le niveau IIB toutefois, les observations sur l'action finiront par améliorer la lecture des mouvements de l'objet, le sujet devenant alors sensible au fait que le mouvement du doigt entraîne une rotation de direction inverse à celle donnée par la propulsion en avant de la balle. Mais c'est seulement au niveau III que le phénomène observé ne pose plus aucun problème au sujet. Celui-ci a alors clairement conscience des deux actions simultanées de son doigt, en même temps qu'il comprend comment toutes deux agissent sur le déplacement de la balle et expliquent son comportement de prime abord étonnant⁷.



Chapitre IV : Le plan incliné (avec A.-M. Zutter)

a. Le problème

Poser un objet sur un plan incliné pour le faire descendre ne pose plus de problème à un enfant de 4 ans. Mais ce qu'il ne parvient pas à réussir d'emblée, c'est incliner un carton ouvert dans lequel cet objet se trouve pour que celui-ci se déplace jusqu'à un point d'arrivée particulier (selon la diagonale de la boîte par exemple), ou encore à se représenter la trajectoire suivie. Deux situations sont par ailleurs possibles : soit le sujet agit directement sur le carton, soit il place des plots sous chacun des quatre sommets ou des quatre côtés de la boîte, pour permettre à l'objet d'atteindre le but fixé (le premier cas permet au sujet d'atteindre le but par régulation sensori-motrice, le second par « régulation active »⁸).

b. Les résultats

Les enfants réussissent dès le niveau IA à atteindre le but fixé, cela grâce aux régulations sensori-motrices (seule exception : lorsque le trajet qu'on leur demande de réaliser est en « W »). Ces régulations finissent par aboutir à une procédure qui fonctionne à tout coup pour les situations les plus simples : lever le plus haut la partie du carton opposée au point d'arrivée souhaité). Si ces enfants échouent au trajet en W, c'est parce qu'ils devraient décomposer la trajectoire en quatre parties, ce qui nécessite une activité consciente (sauf bien sûr si on procédait à un apprentissage de type skinnérien). Enfin la situation où il s'agit de mettre des plots sous le carton aboutit en général à un échec, ce qui se comprend puisque, sauf réussite au hasard, le succès dépend de régulations actives.

Au niveau IB par contre (vers 6 ans environ), les sujets commencent à faire intervenir des régulations actives, par exemple pour placer des plots sous le carton de manière à obtenir des obliques, ou lorsqu'il s'agit de prévoir que la boîte devrait être placée en diagonale pour les coins opposés de la boîte. Mais ces progrès ne sont atteints que pour les buts les plus simples (il y a échec pour le plan incliné lorsqu'on demande que l'objet parcoure une oblique autre que la diagonale) et la description qu'ils donnent ensuite de leur action est le plus souvent très lacunaire.

Au niveau IIA (7-8 ans), les parcours les plus difficiles (le trajet en W par exemple) sont réalisés sans hésitation. Quant aux prises de conscience « conceptualisées » (p. 80), elles sont là aussi en net progrès (« c'est levé de côté et ça fait pousser là », id.). Mais les enfants échouent lorsqu'il s'agit de placer des plots sous le carton de telle manière que l'objet atteigne d'autres cibles que les quatre points d'arrivée les plus simples (milieu en haut, bas, gauche ou droite). Ce n'est qu'au niveau IIB que la solution de la diagonale sera trouvée pour ce dernier problème, non sans quelques tâtonnements.

⁷ Les quatre dernières pages du chapitre rapportent les résultats obtenus avec un cerceau à la place de la balle de ping-pong, résultats qui, comme nous l'avons déjà dit au début de ce résumé, sont similaires à ceux présentés ici.



Enfin, l'une des caractéristiques du stade III sera la possibilité d'énoncer une loi générale telle que « ça descend tout le temps au côté le plus bas » (p. 83).

c. Conclusions

Pour Piaget, dès le niveau IIA intervient une coordination inférentielle, qui certes dépasse les observables, mais qui par ailleurs assure une meilleure lecture de ceux-ci. Cette coordination fait intervenir deux composantes : la nécessité d'une trajectoire en pente et la mise en relation des inclinaisons longitudinales et latérales. Au niveau IB, il n'y a pas encore de nécessité, mais un simple constat empirique du rôle de la pente ; au niveau IIA, la trajectoire est conçue comme le résultat d'une coordination des inclinaisons. Et pourtant, c'est dès le niveau IA que le sujet est capable d'incliner en action la boîte (selon les deux directions, horizontale et verticale) pour atteindre le but. Il y a donc un très net décalage entre la réussite en action et sa conceptualisation, du moins pour ce qui est des problèmes n'exigeant pas de réglages actifs. Par contre, lorsque les enfants sont capables de résoudre les problèmes exigeant des réglages actifs, les coordinations inférentielles qui les guident assurent du même coup une lecture correcte des observables, et cela sur l'action aussi bien que sur l'objet.

Chapitre V : Les constructions d'un chemin en pente (avec M. Robert)

a. Le problème

Dans cette nouvelle recherche, le sujet doit utiliser des objets qu'on lui donne (plots, planches, etc.) pour construire un chemin en pente permettant à une poupée d'accéder au sommet d'une montagne (ou une voiture à la place de la poupée, avec un lac entre le point de départ et d'arrivée). Puis on lui demande de décrire ce qu'il a fait, soit lors de ses essais, soit, et c'est instructif, une semaine après. En plus de rapporter les étapes des solutions proposées et de leur conceptualisation, Piaget examinera les différences entre les résultats de cette recherche et ceux des trois précédentes, dans lesquelles les sujets devaient agir sur un mobile pour le faire parvenir à un certain endroit.

b. Les résultats

Au niveau IA, les enfants empilent des objets sans atteindre une hauteur suffisante, placent presque verticalement une grande planche contre la montagne, ce qui ne

⁸ Les deux sortes de régulations sont bien sûr actives ; si ce dernier qualificatif est ici réservé aux secondes, c'est pour souligner le fait que ces régulations sont alors consciemment dirigées par le sujet psychologique, qui contrôle chacune des composantes de la régulation.



donne pas non plus la solution, etc. Les actions se font au coup par coup, sans projet, le choix d'un élément suivant se faisant en fonction seulement du résultat atteint jusque-là. Les sujets ont bien l'idée de pente, mais ils ne cherchent pas à imaginer comment les objets à disposition pourraient permettre d'en construire une qui aille de l'endroit où se trouve la poutre jusqu'au sommet de la montagne. En cours de route, les sujets peuvent aussi se laisser distraire par leurs constructions successives (par exemple répéter des empilements sans rapport avec le but poursuivi), oublier en chemin le point de départ ou d'arrivée de leurs constructions, etc. Au niveau IB il y a plus de constance dans la recherche d'une solution ; mais si les sujets y parviennent, c'est par tâtonnements successifs, sans planification. Dans les deux cas, lorsqu'on demande aux enfants de décrire le problème et leurs actions, leurs récits sont corrects, mais les actions n'y sont considérées que de manière isolée les unes des autres (le souvenir de ces actions isolées est d'ailleurs également très bon après une semaine).

Au deuxième stade par contre, à la grande différence du premier, les sujets sont guidés par le projet de construire une pente, projet qu'ils ne perdent pas de vue au cours de leurs actions, pas plus qu'ils ne perdent de vue le fait que la pente doit partir du point de départ pour aboutir sur le sommet de la montagne. A un niveau IIA, des erreurs subsistent toutefois, ce qui fait que leurs constructions restent fragiles. Contrairement au stade I, lors duquel la prise de conscience des actions, aussi excellente fut-elle, portait sur les actions isolées, au stade II il y a conscience de l'ensemble de la solution, y compris des raisons des enchaînements d'actions dont elle est constituée. Mais pour la conceptualisation comme pour l'action, il convient de distinguer le niveau IIA, lors duquel des erreurs se glissent dans la description, et le niveau IIB, pendant lequel les sujets ont conscience de la démarche plus méthodique qu'ils ont suivie. Quant au troisième stade, il se distinguera seulement par une précision accrue dans la description de l'enchaînement des actions et dans les raisons données pour le choix des actions ou des objets.

c. Conclusions

Piaget examine ce qui sépare les solutions et conceptualisations liées à la construction d'une pente de celles trouvées dans le cas de l'action sur un mobile. Il souligne en particulier le fait que, à la différence de ce qui se passe pour les mobiles, où il est difficile de trouver les composantes de l'action (très brève et qui peut réussir par régulations sensori-motrices) pour la construction du chemin en pente, il est facile de décrire les actions successives ou encore les intentions variées que le sujet a pu avoir. Mais aussitôt que l'on se place du point de vue de l'ensemble de la conduite, les difficultés de la conceptualisation apparaissent également. Ce n'est que lorsque le sujet saura planifier de façon plus ou moins correcte la suite de ses actions, en n'omettant ni le point de départ ni celui d'arrivée, qu'il parviendra à une conceptualisation satisfaisante. Enfin notons encore que la prise de conscience ne porte pas seulement sur les actions particulières, les observables sur l'objet, les intentions du sujet ou le plan d'ensemble. Piaget applique aussi cette notion, ou celle de conceptualisation, à la consigne donnée au sujet. Il observe que la conceptualisation de cette consigne peut souffrir des mêmes lacunes que la prise de conscience de l'action. Le sujet peut se centrer sur le résultat à atteindre en oubliant les conditions de la consigne, etc.



Chapitre VI : Le jeu dit des « puces » (avec C. Dami)

a. Le problème

Le jeu est connu : il s'agit de presser sur un jeton au moyen d'un autre pour que celui-ci entre dans une boîte se trouvant à une certaine distance. Très tôt les enfants réussissent à trouver le procédé au moyen de régulations sensori-motrices ou automatiques. Mais si l'action est simple, les interactions physiques en jeu sont assez complexes : il y a une certaine action du premier jeton sur le second, ainsi que l'action, nécessaire, d'une surface molle – un tapis – permettant l'enfoncement du deuxième jeton pour que sa trajectoire prenne une surface courbe. Les sujets qui voudront chercher à améliorer leurs performances non plus par de simples régulations pratiques, mais par régulations actives, chercheront le pourquoi et le comment des réussites et des échecs, ce qui devrait se traduire par des observations de plus en plus complètes.

b. Les résultats

Dès le stade I (4-6 ans), les sujets réussissent à atteindre la boîte, choisie assez grosse pour faciliter leur succès. Par contre la prise de conscience reste très globale en ce qui concerne l'action propre (« j'ai appuyé très fort », etc.), et les observables sur l'objet sont soit aussi très globaux (le tapis permet « de faire beaucoup mieux »), soit déformés (la trajectoire du jeton projeté est horizontale jusqu'à la boîte, puis fait un saut vers celle-ci). Au niveau IB, on constate toutefois des descriptions plus précises de certains aspects des actions ou des observables en jeu, comme par exemple le fait qu'il faut appuyer sur le bord du second jeton avec le premier (alors que la description du niveau IA s'en tient au fait que l'on pousse le deuxième avec le premier). Ce que les enfants de ce stade ne voient pas, c'est que leur action, relayée par celle du premier jeton sur le second et complétée par l'intervention du tapis, se subdivise en actions de propulsion et de rotation (faisant partir le mobile vers le haut).

Au niveau IIA (7-8 ans), les sujets reconnaissent que l'action du premier jeton sur le second soulève celui-ci, ce qui, allié à la propulsion, le fait accomplir une trajectoire courbe. Ils commencent aussi à attribuer un rôle dynamique au tapis, qui « aide » le second jeton à atteindre la boîte, mais sans trop qu'ils sachent comment. Les enfants du niveau IIB se distinguent de ceux du niveau IIA en prenant conscience que le tapis est ce qui permet l'inclinaison du second jeton. Enfin, les sujets du stade III se caractérisent par des descriptions plus détaillées des différents facteurs et mouvements en jeu, en particulier de la rotation imprimée au deuxième jeton.

c. Conclusion

La conclusion générale tirée de cette recherche porte sur le retard de la conceptualisation de l'action et des observables par rapport à la réussite de la tâche. Ce retard est d'autant plus frappant que, considéré isolément, chacun des observables ne présente aucune difficulté. Par exemple, le mouvement du tapis ou l'inclinaison prise par le jeton sont très visibles et les enfants du stade I peuvent les constater sans difficulté.



S'ils ne font pas intervenir ces différents observables dans la conceptualisation de leur action et des différents éléments de la situation, c'est parce qu'ils n'attribuent initialement pas de rôle au tapis, à l'inclinaison du second jeton, etc., dans le déplacement du mobile. C'est seulement dans la mesure où ils s'efforceront d'expliquer comment le premier jeton lance le second (par pression), comment la puce parvient dans la boîte (par une trajectoire courbe), comment il peut y avoir une trajectoire courbe (par une rotation initiale du second jeton), etc., qu'ils seront amenés à intégrer de manière de plus en plus complète les observables en jeu et à les insérer dans des coordinations inférentielles variées.

Chapitre VII : Le choc des boules (avec C. Dami)

a. Le problème

Il s'agit d'une sorte de jeu de quilles élémentaire. Un bonhomme C est placé sur un tapis, ainsi que deux boules A et B. Trois buts sont successivement fixés aux enfants : 1. les boules A et B sont alignées par rapport au bonhomme et le sujet doit faire tomber celui-ci en lançant A contre B ; 2. les boules sont également alignées, mais cette fois le sujet doit éviter de faire tomber le bonhomme ; 3. enfin, la boule B formant un angle de 45 degrés par rapport à l'alignement de A du bonhomme, il s'agit à nouveau de faire tomber celui-ci en lançant A contre B⁹.

b. Les résultats

Même si les sujets du niveau IA commencent par utiliser des procédés ne respectant pas la consigne, ils parviennent très vite à lancer A sur B non seulement pour que A renverse B, mais au contraire pour qu'elle ne le renverse pas (deuxième but). Ils peuvent donc dès ce niveau viser B sur le côté de telle façon qu'elle passe près de C, sans le toucher ou le faire tomber. Pourtant, lorsqu'on demande à ces sujets comment ils ont réussi à éviter la chute du bonhomme, ils ne parviennent qu'à donner des explications très générales et en partie inadéquates (comme un enfant qui affirme « on les lance d'un côté ou de l'autre », ou un autre qui dit qu'il a lancé « tout droit » A sur B, alors même qu'il a visé pour que la première touche la seconde sur le côté, p. 123). Cette insuffisante prise en compte des observables en jeu est liée à une explication qui reste globale et préopératoire. Le renversement ou non du bonhomme est dû au pouvoir des boules ; l'endroit où elles frappent ou bien la direction donnée par le sujet à la première boule ne sont pas évoqués.

Le niveau IB se caractérise par une prise de conscience commençant à différencier les différentes actions en jeu : le sujet agit sur A, puis celle-ci agit sur B. Mais les directions de lancement et les points d'impact ne seront pris en compte qu'au stade IIA (« J'ai lancé un peu en biais, ça va un peu de travers et ça ne touche pas la poupée



», ou encore, si la boule B va dans telle direction et non pas dans telle autre, c'est « parce que la boule [A] l'a touchée là », p. 127). Pourtant cette prise en compte reste globale, ce qui se manifeste entre autres par le fait que les sujets échouent à faire tomber le bonhomme lorsque B forme un angle de 45 degrés par rapport à la droite AC. Ce n'est qu'au niveau IIB que les sujets sauront d'une part réussir à atteindre le but dans cette dernière situation, et d'autre part prendre conscience que pour réussir, il faut « bien calculer où on tape » (p. 130).

c. Conclusion

Cette conclusion est intéressante en ce qu'elle met en évidence un certain cercle dialectique entre le sujet et l'objet. Piaget observe que la prise de conscience des actions propres (la direction qu'elles impriment à A, la force qu'il convient de donner, etc.) est « favorisée par la lecture de leurs résultats sur l'objet » (p. 131). Mais par ailleurs, la lecture des observables dépend du progrès des explications et des coordinations inférentielles. Or celui-ci dépend lui-même des progrès d'une abstraction réfléchissante portant sur la coordination des actions du sujet. Quant à cette coordination, qui occupe une place fondamentale, elle « ne fait pas problème, puisqu'elle consiste simplement à enchaîner les relations déjà à l'œuvre dans les tâtonnements du stade I » (p. 132).

L'affaire est peut-être encore un peu plus complexe que ne le suggère ici Piaget, si l'on se rappelle les deux types de régulations qu'il a distingués dans un précédent chapitre (sensori-motrices et actives). Si des régulations actives entrent en jeu à un certain niveau de développement des coordinations (et on peut supposer que c'est le cas pour la situation où B forme un angle de 45 degrés par rapport à AC), alors la dialectique « observables sur l'objet – explication – observables sur l'action propre » fait intervenir des coordinations d'actions qui pourraient elles aussi partiellement s'appuyer sur les observables sur l'objet. ... Notons que ce problème central de l'épistémologie génétique (interaction sujet-objet) que l'auteur aborde très rapidement dans la dernière page de ce chapitre sera au cœur de la quasi-totalité de ses recherches des années 70.

Chapitre VIII : La poussée de mobiles de formes différentes (avec I. Flückiger-Geneux)

a. Le problème

Différents objets, une balle, un objet symétrique comme un cylindre, un gobelet (donc un objet asymétrique), etc., doivent être poussés sur le sol au moyen d'un bâton vers

⁹ Piaget signale qu'un problème similaire avait été posé dans les recherches sur la causalité, mais il s'agissait pour les sujets non pas de réussir à atteindre des buts, puis de conceptualiser leurs actions et leurs observations, mais simplement d'expliquer les chocs et les trajectoires des boules. On peut donc constater ici la continuité qu'il y a entre les anciennes recherches sur la causalité et les recherches sur la prise de conscience, celles-ci ouvrant par ailleurs le nouvel ensemble d'études consacrées aux mécanismes de construction cognitive.



un but qui peut se trouver soit en face du sujet, soit de côté. Pour le sujet, le problème est donc de coordonner ses actions en tenant compte des propriétés du mobile et de la cible (l'absence de symétrie, son placement initial, le placement de la cible, etc.).

b. Les résultats

Au niveau IA, les sujets ont encore de la peine à lancer les objets au moyen du bâton lorsque la cible n'est pas en face d'eux. La position du corps propre est spontanément considérée comme pertinente par rapport à la tâche, et ils tendent donc à se placer face à la cible. Avec les objets symétriques (cylindres), il y a réussite lorsque la cible fait face aux enfants, sinon des tâtonnements plus ou moins laborieux peuvent conduire au succès. En tous ces cas, les prises de conscience et conceptualisations des mouvements exécutés sont soit rudimentaires soit erronées. En ce qui concerne enfin les objets non symétriques, les sujets n'anticipent pas du tout que la poussée imprimée à l'objet se traduira par un mouvement non linéaire, et ils agissent sur l'objet comme s'il était symétrique. Lorsqu'on leur fait constater le mouvement produit, ils reconnaissent qu'il n'est pas droit, mais ils ne comprennent pas du tout pourquoi cela fait un virage, ou croient que c'est la faute de leur propre action qui est « ratée » (p. 138). Pourtant, dès ce niveau les sujets découvrent un procédé général pour atteindre le but : pousser de manière continue l'objet avec le bâton en corrigeant sans cesse les écarts, afin de réduire la distance entre les deux objets. Mais ils n'en restent pas moins très peu conscients de ces corrections, comme ce sujet de presque 6 ans qui affirme que l'objet « a été tout droit » (id.).

Au niveau IB par contre (6 ans environ), les sujets prévoient d'emblée que les objets asymétriques iront de côté, mais sans savoir lequel. Cela ne les empêche pas de se placer en face de ces objets pour tenter de leur faire parcourir une ligne droite jusqu'à la cible ; ce qui est conforme à leur explication selon laquelle c'est leur action, comprise de manière encore tout à fait globale, qui explique que l'objet atteint la cible. Dans le cas plus simple de la balle, mais avec la cible de côté, les sujets de ce niveau sauront pourtant imprimer une rotation au bâton, avant de pousser celui-ci et l'objet en direction de la cible. De plus, ces réussites seront accompagnées de prises de conscience exactes.

Au niveau IIA, les sujets savent qu'ils doivent tenir compte des rotations des objets asymétriques, comme le montre le fait qu'ils sauront, si on le leur demande, déplacer correctement le but en fonction de la position de l'objet asymétrique de telle manière que, si l'objet est poussé, il atteindra la cible déplacée. Par contre, si on leur demande de placer le mobile asymétrique pour que celui-ci atteigne le but (alors non déplacé), ils devront beaucoup plus tâtonner pour trouver la solution et seront beaucoup moins certains de réussir. La raison en est qu'ils discernent mieux les différents facteurs liés à l'action propre et à la forme du mobile. Ils savent, par exemple, que la courbe parcourue par le mobile asymétrique dépendra du point où ils frapperont l'objet avec le bâton, mais ne connaissent pas le résultat exact de ce facteur. Il faut pourtant noter que placer le but pour tenir compte de la courbure des trajectoires fait appel au même facteur du point d'impact. Si la solution est plus facilement trouvée en ce cas, c'est parce qu'il est psychologiquement plus facile de prolonger un mouvement à partir de son point de départ (et de placer alors le but), que de calculer à partir du but comment placer ce point.



Au niveau IIA, la connaissance progressive de ce qui tient à l'action propre et de ce qui tient aux objets en jeu est due aussi bien à une prise de conscience plus précise de l'action propre qu'aux progrès de la causalité et des observations sur les propriétés des objets et de leur mouvement.

Quant au niveau IIB, puis au stade III, ils se caractérisent par une répartition d'abord hésitante, puis ferme et claire, de ce qu'il convient d'attribuer à l'action propre d'un côté, aux propriétés et aux mouvements des objets de l'autre. Pour l'objet asymétrique, les sujets savent ainsi que la petite roue ou la grande roue (objet de forme conique) font le même nombre de tours, mais que la première décrit un petit cercle pendant que la seconde décrit un grand cercle (et fait donc un plus long chemin). Le mouvement global de l'objet sera la conséquence de la différence entre les mouvements de chaque partie. Il faudra donc le placer en fonction de cette différence. D'autre part, si on place l'objet au point d'arrivée et qu'on le pousse en sens inverse, il reviendra forcément au point de départ par le même chemin. Dès lors les sujets du troisième stade auront immédiatement l'idée de partir du but pour remonter à un point de départ, pour placer l'objet asymétrique en un endroit qui lui permettra d'atteindre le but lorsqu'il sera poussé avec le bâton.

Chapitre IX : Le halage d'un paquet (avec C. Gilliéron)

a. Le problème

Les sujets doivent amener un objet d'un bout à l'autre d'une table, d'une planche posée sur deux chaises ou d'une « rivière infranchissable » tracée sur le sol, sans que l'objet ne tombe ou touche le bord de la rivière. Dans ces situations il y a donc la trajectoire de la main du sujet (qui guide l'objet), celle du mobile, ainsi que l'inclinaison de la ficelle avec laquelle celui-ci est tiré (et qui, en cas de réussite, doit devenir finalement parallèle à la table, à la planche ou au bord de la rivière).

b. Les résultats

Au stade I, les sujets arrivent en tâtonnant à allonger la ficelle ou à se rapprocher du bord de la planche pour éviter que l'objet tombe, ce qu'il peut d'ailleurs finir par faire. Par contre, les prises de conscience de l'action propre restent très rudimentaires (il suffit de tirer le paquet tout droit, mais comment, on ne sait pas) ; quant au trajet de l'objet, il est décrit (par exemple au moyen d'un dessin) comme étant simplement soit parallèle au bord du chemin à suivre, soit oblique (chez les sujets de niveau IB). Prise de conscience et description sont donc très grossièrement correctes, mais avec des erreurs, comme par exemple une trajectoire qui dévie brutalement, notamment lorsqu'il s'agit de représenter une chute. On ne note également pas d'essais de coordonner la direction de la main avec la direction de l'objet. Dès lors, les sujets de ce stade ne sont pas sensibles à ce que pourrait présenter de contradictoires un trajet parallèle de la main et oblique de l'objet par rapport au bord du chemin.

Au niveau IIA, c'est précisément ce début de coordination entre les mouvements de la main et ceux de l'objet qui pose problème. Les enfants savent que si on tire sans



autre l'objet perpendiculairement au bord du chemin, il tombe ; de même savent-ils que si on le tire dans l'axe du chemin, il ne tombera pas... Mais comme ils sont eux-mêmes sur le bord du chemin, la ficelle commence en fait par tirer obliquement. Dans l'action, ils savent alors faire en sorte que l'objet ne tombe pas ; mais dans la représentation, ils en arrivent à subordonner au contraire « le trajet du paquet à la position de la ficelle » (p. 157), en négligeant alors le fait que celle-ci change progressivement d'orientation.

Au niveau IIB, les sujets parviennent mieux à coordonner les observations qu'ils font sur leur propre action et celles sur les mouvements de l'objet ainsi que la direction de la ficelle. Ils remarquent que, l'objet se rapprochant du bord, la ficelle devient de moins en moins oblique, pour peu qu'ils ne s'éloignent pas du bord. Il en résulte que l'objet finit par aller « droit derrière [le sujet, parallèlement par rapport au chemin] » (p. 158). Ce que ne voient pas encore les enfants de ce niveau, c'est que la ligne que trace l'objet par rapport au bord n'est pas linéaire, ce qui résulte du fait que la ficelle devient de moins en moins oblique (si l'angle formé par la ficelle et l'axe du chemin était conservé, le trajet de l'objet prendrait la direction de la première, et celui-ci finirait par tomber).

Enfin, au stade III, le sujet constate et comprend la courbure du trajet de l'objet, conséquence de l'inclinaison de plus en plus faible de la ficelle.

c. Conclusions

Comme pour les autres recherches, il y a ici un lien étroit entre le progrès des observations sur les facteurs en jeu (distance du sujet, direction de la ficelle, trajectoire de l'objet) et le progrès de la compréhension que le sujet a du rapport entre ces facteurs. Ce que l'auteur résume en affirmant que « les résultats obtenus en cette recherche sont presque les mêmes que, si au lieu de décrire ce qu'ils voyaient, les sujets avaient été priés de prévoir et d'expliquer » (p. 162). Là encore il est assez étonnant de voir que certains observables, qui ne font en eux-mêmes aucune difficulté (comme celui d'un objet se rapprochant progressivement du bord et non pas d'un seul coup), ne sont pas pris en compte tant qu'ils ne font pas sens par rapport à l'explication que le sujet peut se donner des mouvements en jeu. Mais comment « la prise de conscience de l'action propre et la prise de connaissances de ses résultats observables sur l'objet » (id.) peuvent-elles favoriser les progrès de la compréhension ?

Piaget distingue toute une série de faits en rapport avec cette question. D'abord, il reprend la distinction entre les régulations sensori-motrices ou automatiques et les régulations par « réglage actif » (p. 163) déjà utilisée dans des chapitres antérieurs. Dans le premier cas, le sujet n'a pas conscience des régulations par lesquelles il corrige les lacunes ou les échecs de son action. Dans le second cas, et dans la présente situation, le sujet en arrive à prendre explicitement en compte les facteurs d'orientation de la ficelle et de position de sa main (ou de lui-même) par rapport au chemin. Cela le conduit dès lors à analyser les moyens employés pour atteindre le but. Les observations auxquelles il est conduit peuvent certes, dans un premier temps, être déformées en fonction des explications incomplètes qu'il se donne de faits tels que la chute de l'objet (par exemple le sujet peut croire qu'il a tiré l'objet dans la direction de la chute, et donc que sa main aurait été de travers par rapport au chemin à suivre).



Des observations renouvelées et correctes le conduiront pourtant « tôt ou tard » à des différenciations et coordinations supérieures des facteurs en jeu ¹⁰.

En bref, on voit ici Piaget introduire l'idée d'un rapport dialectique entre des observations conduisant à de nouvelles coordinations et ces nouvelles coordinations permettant de nouvelles constatations. C'est ce genre de processus qui sera plus longuement exploré dans l'ouvrage sur L'équilibration des structures cognitives, rédigé à peu près en même temps que la présente étude.

Chapitre X : La catapulte (avec O. de Marcellus)

a. Introduction

Ce chapitre contient deux parties, l'une consacrée à l'exposé des étapes franchies par les sujets pour prendre conscience des facteurs en jeu dans le lancer d'objets au moyen d'une catapulte, l'autre exposant les résultats d'un bref sondage portant sur un conflit possible entre les facteurs géométriques et dynamiques évoqués par certains sujets du second stade pour expliquer l'action de la catapulte. Nous ne rapportons ici que la première partie, dans la mesure où la seconde ne fait que confirmer une nouvelle fois la solidarité entre les processus de prise de conscience et de compréhension.

b. Le problème

Après une brève démonstration du fonctionnement d'une catapulte faite d'une barre munie de neuf trous permettant de la fixer sur un axe de rotation (et donc de modifier la longueur de ses deux branches), l'expérimentateur prie le sujet de lancer à son tour un objet (une boule de pâte à modeler) pour qu'il atteigne l'une ou l'autre de plusieurs boîtes disposées à une certaine distance. Parmi les facteurs importants, il y a l'endroit où l'enfant va poser la boule, puis, pour les sujets les plus avancés, l'action d'un poids se substituant à l'enfant pour agir sur le levier de la catapulte, enfin la longueur respective des deux branches de celle-ci.

c. Résultats

A un premier niveau IA (4 ans environ), le sujet ne parvient pas à utiliser la catapulte, même après démonstration (il cherchera à placer lui-même l'objet dans la boîte ou à placer la boule le plus près possible de la cible). Les observables gênants ne sont pas retenus. Au niveau IB par contre (5-6 ans et plus ici), le sujet commence lui aussi par agir selon sa conviction qu'il faut placer l'objet plus près de la cible ; mais voyant que cela ne marche pas, il pourra le déplacer au bon endroit. Si ensuite on lui demande comment faire pour la lancer plus loin, il rapprochera la boule du centre, et ce n'est qu'à la suite d'un nouvel échec qu'il y aura correction. Ce progrès dépendrait du fait que l'enfant prend conscience du mouvement de la boule, qui ne glisse pas sur la barre pour aller vers la cible, mais est projetée en l'air. Ce constat ne suffit pourtant



pas à lui suggérer un éloignement plus grand du centre (en sens opposé de la cible) pour atteindre un but plus éloigné.

Au niveau IIA, les sujets tiennent compte au contraire du mouvement de rotation parcouru par la boule. Mais lors de la conceptualisation de leur réussite, ils ne s'appuient pas sur le facteur géométrique, et évoqueront un facteur dynamique pour justifier le fait qu'il s'agit de mettre l'objet plus loin pour « qu'il s'éjecte plus fort » (p. 172). Les sujets ne cherchent donc pas à utiliser la représentation de la trajectoire pour anticiper ou expliquer la solution.

Cette prédominance du facteur dynamique se retrouve au niveau IIB, où les sujets s'appuient sur le plus ou moins grand élan pris par l'objet pour expliquer le fait que le placer plus loin du centre soit plus efficace. Ce qui étonne ici Piaget, c'est que ces enfants ne fassent pas plus référence à la longueur et à la forme des trajectoires.

Il faut en effet attendre le stade III pour qu'ils fassent intervenir non seulement le poids ou l'élan dans leurs explications, mais aussi le fait que, par exemple, « la course va être plus grande » si on place l'objet plus loin du centre (p. 177).

d. Conclusion

La succession des prises de conscience sur l'action et des observables sur l'objet au cours des différentes étapes procède de la périphérie, commune au sujet et à l'objet, à leurs centres respectifs. Au début, et bien qu'il y ait réussite dès le niveau IB, les actions tendent à se mouler sur la simple idée que le chemin vers le but est une translation, ou alors qu'il convient de placer la boule le plus près possible du but. La prise de conscience est totalement orientée sur celui-ci. Puis les observables sur l'objet « imposent la constatation d'une rotation de la barre » (p. 179). Le projectile étant vu comme lancé en l'air, le sujet (stade II) va se centrer sur les facteurs dynamiques, en ne considérant d'abord que des pouvoirs indifférenciés (plus fort, plus d'élan, etc.), sans prise en compte du « comment » (IIA), puis en tenant compte de covariations entre le poids remplaçant l'action du sujet et le poids de la boule (IIB). La force de l'action lançant l'objet et lui donnant de l'élan domine les conceptualisations des enfants, en intégrant le facteur « distance du placement de la boule par rapport à l'axe de la catapulte ». Ce n'est qu'en une dernière étape que le sujet en arrive à considérer les conditions internes de la rotation comme raison explicative, avec la force, de la réussite de la projection. Dans cette progression de la prise de conscience, qui va de la simple considération de la cible vers les raisons internes de la réussite, il apparaît que « le choix des observables dépend à chaque niveau du degré des coordinations nécessitées par un tel mouvement rétroactif d'ensemble » (p. 180).

¹⁰ Certains chercheurs ont pu reprocher à Piaget l'usage d'un recours assez fréquent à la notion de « tôt ou tard » dans ses explications du développement. Il n'y a pourtant là rien d'autre que la reconnaissance de l'impossibilité de saisir la totalité de la vie intellectuelle d'un individu.



Chapitre XI : La prise de conscience d'orientations contraires aux directions prévues (avec A. Blanchet)

a. Le problème

Le dispositif utilisé est un ventilateur dont on peut régler la puissance et la direction, afin de faire tenir en l'air un ballon. Le sujet devra non seulement réussir à diriger le ventilateur et à régler sa puissance pour que le ballon tienne en l'air, mais de plus envoyer celui-ci vers un certain endroit, puis le faire revenir à son point de départ, ce qui exige des réglages très fins de l'action. La conceptualisation demandée aux enfants portera non pas tant sur l'explication des faits observés, trop compliquée pour donner des réponses intéressantes, que sur les actions exécutées.

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, le sujet échoue généralement à « faire voler » le ballon. C'est qu'il ne tient compte que de la puissance du jet d'air et non pas de sa direction. Au niveau IB (vers 6 ans), le sujet tient compte des deux facteurs pour son action, et cela avec un certain succès obtenu par tâtonnements. Mais sa conceptualisation ne fait intervenir que la force du jet, ce qui l'entraîne à déformer certains observables.

Au niveau IIA (7-8 ans) au contraire, le sujet distingue bien les deux facteurs au niveau de l'action comme de la conceptualisation (un enfant dira ainsi qu'il faut « tourner la manivelle [le rhéostat] jusqu'ici, pencher ça [le ventilateur] contre la lune, enlever des gaz, pencher ça plus encore, mettre plus fort les gaz », etc. (p. 192). Mais il subsiste des déformations des observables sur deux points : premièrement, après le décollage, lors duquel le problème ne se pose pas, le sujet ne voit plus qu'il faut baisser le ventilateur pour faire monter le ballon (ce qu'il réussit en action), et deuxièmement il croit que l'intensité du courant doit être proportionnée à l'éloignement du ballon.

Le niveau IIB est particulièrement intéressant dans cette recherche. Après chaque réussite de l'action, les sujets décrivent correctement ce qu'ils ont fait ou vu (y compris pour les deux types d'observables mentionnés ci-dessus). Mais lors de résumés finaux dans lesquels ils font intervenir des explications, ils déforment à nouveau les faits « sous l'influence du modèle en formation » (p. 193), déformation qui les entraîne vers des affirmations contradictoires à celles, correctes, qu'ils formulaient auparavant. En prenant conscience d'une telle contradiction, un enfant s'en sortira en remarquant simplement qu'avant, il aurait « dû faire un peu moins fort » (p. 194).

On arrive alors à un des résultats les plus intéressants de cette recherche. Comme les enfants de ce niveau IIB, mais aussi ceux du stade III, n'ont pas l'idée d'introduire des formes de causalité circulaire (tardivement apparues, d'ailleurs, dans l'histoire des sciences), ils aboutissent à des modèles explicatifs erronés. Dès lors, si après avoir proposé ces modèles ils reviennent sur le terrain de l'action effective, on les voit se débrouiller moins bien avec le dispositif qu'ils ne le faisaient auparavant.



Chapitre XII : La construction de trajets au moyen de rails connectés (avec A. Munari)

a. Le problème

Le matériel est composé de cinq rails droits et huit courbés (la proportion des longueurs est telle qu'avec deux éléments courbes, on peut atteindre les deux extrémités d'un droit). On demande au sujet de construire un chemin entre deux points en utilisant tous les rails, ou quatre courbes et un droit, ou six et un, ou huit et un. A chaque fois, on lui demande de construire les autres chemins possibles.

Dans cette expérience, ce ne sont pas les propriétés causales des objets qui sont en jeu, mais les propriétés géométriques. Piaget souligne alors comment les différentes rotations possibles entre éléments constituent deux types de groupes obéissant à des lois mathématiques (groupe simple et groupe de quaternarité).

b. Les résultats

Au niveau IA, les sujets utilisent bien les différents éléments, mais sans tenir compte des rotations et des symétries. Les choix d'un nouvel élément ne tiennent pas compte du but à atteindre, mais de la figure jusqu'ici formée. Un enfant dira d'ailleurs ne pas pouvoir atteindre le but « parce que les rails vont par ici » (p. 202), c'est-à-dire dans une direction opposée au but. Les sujets n'ont pas l'idée de retourner un rail pour faire prendre une direction contraire à un chemin qui s'éloigne de l'arrivée souhaitée. Comme il y a généralement échec, ils se contentent simplement de recommencer dès le début. Ils sont pourtant capables de régulations automatiques. Lorsque, par exemple, ils ont l'idée de placer en un certain endroit tel rail dans tel sens, ils retournent le rail pour atteindre cet objectif local, mais sans aucune considération du but final. Anticipant les recherches sur l'abstraction réfléchissante, Piaget observe aussi que les sujets sont déjà capables de tirer certains ordres de leurs actions. Mais l'abstraction à laquelle ils procèdent porte alors principalement sur les « caractères topologiques de l'espace : ajouter ou enlever un élément, les joindre » (p. 204), ainsi que sur un caractère euclidien, « conserver une direction » (id.), sans compter bien sûr les caractères simplement logiques (« ordre et partition ») ¹¹.

Au niveau IB par contre (6 ans environ), les sujets sont capables d'utiliser la rotation pour se rapprocher du but, et ils parviennent aussi à construire un chemin symétrique par rapport à une « courbure d'ensemble antérieure » (p. 204). Par cet usage des rotations, les sujets s'échappent des suggestions figurales élémentaires et peuvent construire des chemins comportant des courbes inversées (en « ~ » par exemple). Cette utilisation volontaire des rotations non plus locales, mais en vue d'atteindre le but – en d'autres termes ces « réglages actifs » (p. 207) – se traduit par une conceptualisation supérieure des actions effectuées, d'où « une abstraction réfléchissante en net progrès » (id.).



Aux stades II et III enfin, le sujet utilise ses capacités opératoires, d'abord pour engendrer les solutions possibles, puis, au stade III, pour découvrir des lois de périodicité intervenant dans la production des solutions possibles.

c. Conclusions

Ces conclusions portent principalement sur la part des deux formes d'abstraction et sur la progression de l'abstraction réfléchissante depuis l'état IA, où la forme empirique prédomine, jusqu'au stade III. Au niveau IB, s'il n'y a pas encore de coordinations opératoires, l'auteur observe que les « préopérations » ou les « actions opératives » (p. 211) relient un état initial à un état final, et qu'il y a donc déjà une coordination entre ceux-ci. Lorsque les préopérations se rassembleront en structure et deviendront opérations, il y aura cette fois coordination entre ces dernières (et en particulier entre une opération directe et son inverse). Lorsque, dès ce niveau IB, le sujet sera attentif aux rotations qu'il peut imprimer par ses préopérations aux objets, l'abstraction réfléchissante l'emportera progressivement sur l'abstraction empirique. Ce passage progressif de la seconde vers la première se traduit alors sur le plan de la prise de conscience de la façon suivante. Au niveau élémentaire, il y a conscience des observables utilisés, ainsi que des échecs ou des réussites partielles de l'action. Mais les prévisions et les corrections restent locales. Dès le stade II, « les coordinations se manifestent au contraire par un élargissement du champ de la conscience, dans le double sens anticipateur [...] et rétrospectif » (p. 213).

On retrouve ici, mais de façon plus développée, l'ancien constat effectué dès les premiers travaux de Piaget en psychologie génétique selon lequel l'élargissement du champ de l'attention ou du champ de conscience s'explique par l'acquisition de nouvelles capacités intellectuelles, qui s'avèrent être préopératoires puis opératoires.

Chapitre XIII : Le retournement d'un fil par rapport à deux anneaux (avec D. Liambey et N. Burdet)

a. Le problème

Soit un anneau et une ficelle attachée à l'une de ses deux extrémités (la seconde extrémité restant libre). La ficelle traverse l'anneau dans le sens AB. Il s'agit alors pour le sujet de faire passer la ficelle en sens inverse par rapport à l'anneau (ou de retourner l'anneau par rapport à la ficelle), mais sans la sortir de celui-ci. Lorsque le sujet ne trouve pas spontanément une solution, l'expérimentateur lui fait une démonstration, puis lui demande de faire de même. Le sujet doit en outre décrire ce qu'il fait et expliquer ses erreurs.



b. Les résultats et conclusions

Au premier stade (5-6 ans), les sujets ne réussissent qu'après démonstration, et non sans commettre des erreurs, par exemple repasser l'extrémité de la ficelle dans le sens AB, ce qui crée un « nœud » (avec l'anneau). Ces sujets ne distinguent donc pas la situation où la ficelle fait un nœud de celle où elle ressort par où elle est entrée, en laissant une boucle sans nœud. Ils ont en outre des difficultés considérables à reconstituer leur action lorsque cette reconstitution n'est pas immédiate.

Au stade II (à partir de 7 ans environ), les sujets trouvent la solution, seuls ou après démonstration, mais par pure réussite pratique, sans anticipation ou régulation active. L'absence de coordination d'ensemble se double d'une absence de tout progrès de prise de conscience. Enfin, ils tendent à ne pas voir qu'il revient au même, une fois que le fil a été repassé dans le sens BA en laissant alors une boucle, de tirer sur l'extrémité du fil pour sortir la ficelle ou de faire sortir la boucle.

Enfin au stade III, vers 11-12 ans, les progrès ne sont toujours que très faibles et consistent tout au plus à établir des « plans d'exploration » (p. 222), sans trop savoir anticiper ce qui va se passer. Quant aux conceptualisations, elles restent médiocres. Un des sujets fournira même la clé des solutions des sujets dans cette recherche en affirmant : « j'ai d'abord essayé (matériellement) parce que ça prend plus de temps d'essayer dans la tête » (id.).

Cette recherche confirme ainsi l'extraordinaire difficulté de se représenter les relations topologiques qui interviennent dans les nœuds et leur fabrication, et cela alors même qu'on parvient à les faire. Seules les actions simples, non coordonnées avec d'autres actions, peuvent donner lieu aussi bien à une anticipation qu'à une prise de conscience adéquates.

Chapitre XIV : La tour de Hanoï (avec A. Cattin)

a. Le problème

Le problème est bien connu. Soit trois tiges fixées sur une planche et soit un certain nombre de disques (ici deux, puis trois), troués en leur centre et tous de grandeur différente. Ces disques sont empilés au départ par ordre décroissant sur l'une des tiges (de manière à former une tour). Le problème sera de transporter la tour à partir de la tige de départ sur une des deux autres, mais en n'ayant le droit de ne prendre qu'un disque à chaque déplacement. On repose une deuxième fois le problème, avec d'autres points de départ et d'arrivée, pour examiner dans quelle mesure les sujets ont pris conscience du procédé par lequel le but a été atteint.

¹¹ Ce passage illustre la façon dont les recherches sur la prise de conscience peuvent apparaître comme une préparation à celles sur l'abstraction réfléchissante.



b. Résultats et conclusions

Lors du premier stade (5-6 ans) les enfants ne réussissent à déplacer qu'une tour de deux disques, et encore, après des oublis de la consigne, puis des tâtonnements non dirigés. Ils ne parviennent d'ailleurs pas à prendre conscience des raisons de la réussite, preuve en est que si on leur demande de résoudre à nouveau le problème, ils doivent à nouveau tâtonner (alors que la solution s'imposera aux sujets du stade II). Certes ils prennent conscience de chacune des actions effectuées, mais c'est leur coordination qui fait défaut (tant d'ailleurs dans l'action que dans la conceptualisation).

Au deuxième stade (7-8 ans), les enfants réussissent immédiatement dans le cas de deux disques, mais seulement après de nombreux tâtonnements par essais et erreurs pour trois disques. En ce qui concerne cette réussite immédiate (placer le petit en II, le grand en III, le petit en III), Piaget observe qu'elle repose sur une transitivité en acte, inscrite dans la succession même des actions. C'est sur ce genre de transitivité en action que le sujet pourra s'appuyer dans d'autres contextes pour construire la transitivité opératoire. Mais dans la présente situation, les coordinations transitives sont simplement la conséquence des anticipations et des rétroactions que le sujet réalise localement, quoiqu'activement, pour atteindre le but qu'il a en vue (ce sont ces coordinations, ces anticipations et ces rétroactions qui faisaient défaut au stade précédent).

Si, avec deux disques, ces anticipations et les rétroactions locales suffisent à atteindre immédiatement ou presque la solution, leurs limites apparaissent dans le cas de la tour de trois disques. Certes, elles permettront, après un cheminement plus ou moins laborieux, d'atteindre le but, mais sans que le sujet soit à même de découvrir le principe général de solution à partir duquel les déplacements de la tour de trois disques (ou plus) peuvent se déduire. Ce n'est finalement qu'au stade III que, après quelques tâtonnements, les sujets découvriront par « abstraction réfléchissante » à partir de leurs coordinations effectives d'actions (p. 234), ce principe ou modèle général leur permettant d'inférer les déplacements à réaliser pour transporter la tour de 3 (ou de n) étages¹².

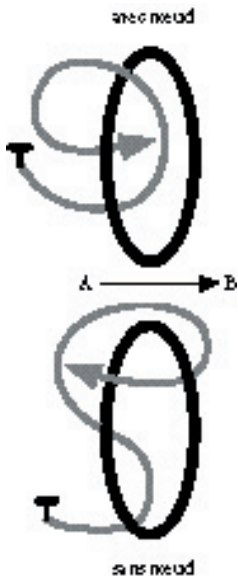
Chapitre XV : La prise de conscience de la sériation (avec J.-P. Bronckart, avec l'aide de A. Henriques)

a. Introduction

Ce long chapitre (plus de vingt-cinq pages), est important. Piaget essaie d'y résoudre la question de savoir si, comme c'est le cas pour les propriétés physiques ou géométriques, l'action précède la conceptualisation également lors de la construction des opérations logico-mathématiques ; ou si au contraire, en ce dernier cas, ce n'est pas la conceptualisation qui dirigerait « les actes en les devançant dans le temps » (p. 236). La réponse apportée à cette question se basera non seulement sur les résultats de ce



chapitre, mais sur des travaux réalisés par Sinclair sur les rapports entre apprentissage verbal et développement des opérations.



Le problème posé est à peu de choses près celui, classique, de la sériation des baguettes. L'enfant est appelé à ranger des tonneaux, des cartes ou des baguettes par ordre de grandeur, ou alors à donner à l'expérimentateur des instructions pour que celui-ci construise la série.

b. Les résultats

Les résultats vont être répartis en quatre sections : une première, qui rapporte le cas des sujets du stade I qui ne changent pas de niveau en cours d'interrogation ; une deuxième, dans laquelle il est question des sujets changeant de niveau ; une troisième, présentant les réponses de sujets qui sont d'emblée au niveau IIA ; enfin une quatrième, qui est un contrôle des réponses des sujets de niveau IIA. N'apportant pas d'informations originales, cette dernière section ne sera pas résumée ici.

Les cas préopératoires ne changeant pas de niveau en cours d'interrogation

Ces sujets (qui ont entre 4 et 5 ans) produisent l'ensemble des réponses préopératoires déjà connues, depuis la solution des couples ou des triplets jusqu'à la sériation empirique. A tous ces niveaux on constate la présence de coordinations d'actions, même minimale dans le cas des couples ou des triplets (l'enfant pose un petit, puis un grand, ou alors un petit, puis un moyen, puis un grand). Comme ces actions et leurs coordinations sont simples, les enfants n'ont pas de peine à conceptualiser leur action. Mais pour les niveaux de réponses plus complexes, on retrouve une constatation déjà obtenue dans les chapitres précédents : plus les coordinations d'actions deviennent complexes, plus la prise de conscience se fait « laborieuse et obéit à ses lois habituelles » (pp. 239-240), et donc plus la conceptualisation est en retard sur ces coordinations. Toutefois il y a des exceptions apparentes à ce constat, et c'est pourquoi Piaget procède à une analyse plus fine en répartissant les sujets en trois groupes : ceux où il y a correspondance des actions et des conceptualisations (c'est le cas des sujets qui en restent au niveau IA), ceux où l'action précède la conceptualisation (c'est souvent le cas des enfants de niveau IB), et enfin ceux où la conceptualisation semble précéder l'action. Seul ce troisième groupe fait problème du point de vue de la théorie constructiviste.

Un exemple du troisième groupe est celui d'un enfant qui ne réussit la sériation que par tâtonnement empirique, mais qui est déjà capable, à propos d'un élément intermédiaire de la série, de le caractériser comme à la fois « plus grand que (le premier) et plus petit que (le troisième) » (p. 242). Le problème théorique réside dans le fait que, dans son action, le sujet n'utilise pas la relation asymétrique dont son langage semble pourtant suggérer la présence chez lui (c'est-à-dire qu'il ne cherche pas le plus grand des restants, qui sera le plus petit des déjà placés, pour construire très facilement la



série). En d'autres termes, il y a ici avance de la verbalisation sur l'action, ce qui tendrait à suggérer que, dans certains cas au moins, la conceptualisation pourrait guider le progrès des actions. Pour Piaget, la formule citée ci-dessus n'atteste cependant pas plus de connaissance logique de la relation asymétrique que ne le fait la capacité perceptive guidant le dessin réussi d'un escalier, présente chez des enfants de niveau IB, par ailleurs incapables de sérier méthodiquement des baguettes de différentes grandeurs. Les réponses des enfants qui changent de niveau au cours de l'interrogation permettra d'y voir plus clair sur ce point.

Les sujets qui changent de niveau au cours de l'interrogation

C'est naturellement les enfants de niveau IA ou IB qui passent au niveau IB ou au niveau IIA (en ce cas de la sériation empirique à la sériation opératoire) qu'il faut examiner de près pour tirer quelques informations au sujet de la question de l'avance et de l'effet possible de la conceptualisation sur l'action. Or les résultats constatés tendent à infirmer l'hypothèse d'une telle avance et d'un tel effet. En effet, chez tous les enfants chez qui des progrès ont été constatés, ceux-ci concernent soit simultanément l'action et la conceptualisation, soit l'action seule, mais jamais la conceptualisation sans l'action. Un enfant passera par exemple d'une sériation empirique (avec le langage « petit », « moyen », « grand » et, lors des répétitions d'une même action, la prérelation « encore plus petit ») à une sériation opératoire (il cherche le plus grand des restants), mais sans alors modifier ses conceptualisations, qui restent de niveau IB. Piaget croit pouvoir conclure que l'hypothèse la plus plausible est celle selon laquelle les expressions verbales (« plus petit », etc.) utilisées par des sujets de niveau IB sont l'analogue des prévisions graphiques dans lesquelles les enfants savent dessiner une sériation, mais non pas sérier opératoirement des bâtons. Pour ces expressions comme pour ces dessins il s'agirait « d'une description du résultat statique à obtenir ou déjà obtenu, et non pas de la méthode à suivre par l'action, car celle-ci ne peut se contenter, pour réussir, de choisir des éléments plus petits ou grands : il faut encore que chacun soit à la fois plus petit que les précédents et plus grand que les suivants » (p. 247). La relation « plus » utilisée par les sujets de niveau IB pour décrire leur sériation empirique serait, en fait, une prérelation de même niveau.

Les cas appartenant d'emblée au niveau opératoire IIA

Les enfants de niveau IIA dirigent leur action à partir de la notion opératoire qu'ils ont de la relation de grandeur. En ce qui concerne leur conceptualisation toutefois, elle peut être en retard sur leur action (comme c'était ci-dessus le cas du sujet passé au niveau IIA en cours d'expérience). Il y a chez ces sujets une coordination de leurs actions dont ils ne prennent pas conscience, et qui serait l'aboutissement, par abstrac-

¹² Piaget ajoute une remarque intéressante concernant la forme particulière du produit de l'abstraction réfléchissante intervenant dans les situations de résolution du problème, comparativement à la forme générale qui se dégage du même mécanisme d'abstraction agissant sur le plan des conservations, des quantifications, etc. En ce dernier cas ce qui est construit par abstraction réfléchissante, ce sont des structures coordonnant des actions ou opérations de portée générale (additionner, inclure, etc.). Dans le premier cas au contraire, ce qui est construit est un modèle s'appliquant à tous les problèmes de même structure particulière.



tion réfléchissante, des régulations utilisées par les sujets de niveau IB pour réussir en tâtonnant leur sériation empirique. Lorsque cette abstraction réfléchissante aboutira à un résultat conscient, et non plus seulement à une coordination opératoire des actions ou des opérations en jeu, il y aura alors conceptualisation réussie que l'auteur qualifiera aussi d'« abstraction réfléchie » (p. 252)¹³.

c. Conclusions

Piaget reprend dans ces conclusions la question des rapports entre action et conceptualisation. Il hésite entre une acquisition simultanée de la coordination sur le plan de l'action et de la coordination sur le plan de la conceptualisation, et une acquisition première sur le plan de l'action, suivie de l'acquisition conceptuelle. Les faits récoltés dans cette recherche le font toutefois pencher vers la deuxième solution (il annonce par ailleurs que cette solution serait aussi fortement suggérée par les faits présentés dans son prochain ouvrage, Réussir et comprendre). En un mot, « l'accès à la composition opératoire se manifeste par des coordinations d'actions de niveau nettement supérieur à la conceptualisation utilisée » (p. 257). Seulement cette solution doit être minutieusement explorée, car les conceptualisations sur lesquelles elle se fonde sont de type verbal, et il se pourrait qu'ils y en aient de basées sur d'autres instruments de représentation. De plus la conscience n'est pas forcément liée à la fonction sémiotique (à moins que l'on refuse de parler de conscience à propos du nourrisson et à propos des conduites sensori-motrices).

Piaget ne nie pas la présence d'une conscience de ses actions chez un enfant capable de sérier opératoirement des baguettes. Il croit cependant que la conceptualisation verbale permet de juger des limites de la conscience sur le point essentiel de « la possibilité de parvenir à une coordination suffisante des actions avant que la conceptualisation, privée ou communiquée, ne parvienne à s'en donner une image adéquate » (p. 259)¹⁴. A l'aune de ce critère, la réponse est alors en effet claire : il y a des coordinations opératoires des actions qui précèdent la prise de conscience de ces coordinations, au sens de la conceptualisation, mais sans pour autant précéder une certaine forme de conscience des opérations alors non détachée de leur activation et de leur coordination.

Ceci est effectivement capital pour la discussion du problème du rôle du langage dans l'acquisition des opérations logico-mathématiques, sans lesquelles il n'y a pas de pensée logico-mathématique. Piaget ne nie certainement que la conceptualisation ne puisse jouer un rôle ; il nie simplement que la source des opérations se trouve dans le langage. Et si, comme le montre la thèse de Sinclair rapportée dans le dernier paragraphe de ces conclusions, dans le cas de la sériation (mais non pas des conservations), un apprentissage verbal accélère parfois le développement de la sériation opératoire, ce résultat n'infirme pas les conclusions du présent chapitre puisque les exercices de langage alors effectués sont tout autant des exercices opératoires (exercices de préopérations de sériation).



Conclusions générales

a. Introduction

Distribuées en cinq sections, ces conclusions commencent par une brève remarque en référence au caractère passif ou actif de la conscience. Notant que Freud concevait celle-ci comme un projecteur jeté sur la vie de l'esprit, Piaget prend le contre-pied en réclamant pour la conscience le même statut dynamique accordé par le père de la psychanalyse à l'inconscient. Ayant dès l'abord marqué sa différence par rapport à l'autre géant de la psychologie, il traite successivement : 1. les raisons fonctionnelles de la conscience (pourquoi prend-on conscience ?), 2. son mécanisme, 3. les rapports entre les observables et les coordinations inférentielles, 4. le rappel des grandes étapes de l'évolution des connaissances, qui vont de l'action à la pensée hypothético-déductive, enfin 5. le double mouvement d'intériorisation et d'extériorisation – un double mouvement qui procède à partir de la périphérie commune au sujet et à l'objet (au début peu différenciés), pour s'orienter, d'un côté, vers les connaissances logico-mathématiques trouvant leur source dans le sujet, et de l'autre, vers l'explication opératoire de la réalité extérieure.

b. Les raisons fonctionnelles de la prise de conscience

Piaget part de la thèse de Claparède selon laquelle la conscience surgirait lors des désadaptations du sujet. Il l'admet certes, tout en soulignant ses limites, démontrées par les résultats exposés. Tout d'abord, lorsque désadaptation il y a, il faut que des régulations, non pas automatiques, mais actives, exigeant des choix délibérés, interviennent pour que la conscience joue son rôle dans le processus de réadaptation. Ensuite, de telles régulations actives n'interviennent pas seulement dans les situations de désadaptation, comme le montre l'exemple de la marche à quatre pattes. Dans celui-ci, il n'y a en effet pas de désadaptation de l'action, et les problèmes que le sujet peut se poser dépendent au désir de comprendre le mécanisme de la marche, ou simplement à une question de l'expérimentateur.

De manière générale, et en considérant tout d'abord ce qui se passe sur le plan de l'action matérielle, la prise de conscience dépend des buts que se pose le sujet et de la prise de connaissance des échecs ou des réussites de l'action. Elle procède alors à partir de la « périphérie » (c'est-à-dire du but visé et du résultat par rapport à lui). Entre le but et le résultat, qui sont tous les deux conscients, se trouvent les moyens mis en œuvre, qui ne deviendront à leur tour conscients que s'il y a échec de l'action, ou si le sujet cherche, pour une raison ou pour une autre, à connaître les moyens employés dans leur rapport à leurs résultats. Pourquoi cependant parler de « périphérie », alors que la notion de but ne fait sens que parce qu'il y a un sujet ? Celui-ci n'est-il pas impliqué dans cette visée ? Oui, mais dans les premières étapes tout au moins, il n'a pas conscience de son rôle dans la constitution d'un but en tant que tel. Ce n'est que progressivement, en raison précisément de la progression des prises de conscience, qu'il prendra connaissance de ce rôle et de celui de ses actions dans les moyens qui le conduisent à la réussite ou à l'échec, en même temps d'ailleurs qu'il prendra connaissance des actions et des propriétés des objets (Piaget reviendra dans ses conclusions sur les deux progressions solidaires, bien que d'orientation contraire, vers les connaissances relatives au sujet d'un côté, à l'objet de l'autre).



Enfin, l'auteur observe que plus on s'éloigne de cette première étape, lors de laquelle la prise de conscience porte sur la périphérie à la fois du sujet et de l'objet (ou sur leur commune interface), pour aller vers celles au cours desquelles la prise de conscience et la connaissance remontent en s'approfondissant et s'élargissant vers le sujet d'un côté et vers l'objet de l'autre, moins les raisons fonctionnelles de cette double progression se limitent aux désadaptations de l'action, et plus elles tiennent au besoin de comprendre ou d'expliquer.

c. Le mécanisme de la prise de conscience

Comment les éléments jusque-là non conscients de l'action du sujet ou des observables sur l'objet deviennent-ils conscients ? Selon Piaget il n'y a pas simplement projection du faisceau de la conscience sur ces éléments, mais un travail de conceptualisation qui fait passer l'assimilation pratique des objets (lorsque le but est atteint sans que le sujet ne sache comment) à une « assimilation par concepts » (p. 266). C'est ce que suggèrent en tout cas les multiples déformations des observables sur l'objet et sur l'action propre, ou les multiples lacunes de l'observation, qui interviennent avant que le sujet ne parvienne à décrire correctement la façon dont le but a été atteint.

Pour qu'il y ait prise de conscience adéquate de l'action, les faits exposés dans cet ouvrage montrent qu'il faut que le sujet procède à une reconstruction conceptuelle des coordinations réalisées sur le plan de l'action (par exemple de la coordination spatio-motrice entre les deux directions d'inclinaison d'une pente permettant de faire tomber un objet en un endroit donné d'avance). Il en va donc de la prise de conscience de l'action propre comme de la prise de connaissance des objets extérieurs (contrairement au postulat de l'ancienne psychologie de l'introspection, il n'y a pas plus de connaissance immédiate de soi que de connaissance immédiate de l'objet).

Le travail de reconstruction conceptuelle permettant le progrès de la prise de conscience peut être alors source de conflits entre un schème conceptuel (une croyance) préalablement acquis et la description exacte des actions du sujet et des changements de l'objet qui ont permis d'atteindre le but. En ce cas, un processus de « refoulement », similaire dans son mécanisme au refoulement affectif, peut être alors constaté avant que le sujet ne parvienne à construire les nouveaux schèmes conceptuels supprimant le conflit¹⁵. D'où provient alors la contradiction ? Elle n'est pas dans l'action, puisque celle-ci réussit, éventuellement après des régulations sensori-motrices non conscientes. Elle n'est pas non plus dans la conscience du sujet (qui peut d'ailleurs être d'abord insensible aux contradictions en jeu). Elle réside dans le processus de conceptualisation, c'est-à-dire – si on se réfère à ce qui a été exposé dans les chapitres précédents – dans des concepts encore insuffisamment différenciés ou mal intégrés, dans des coordinations inférentielles incomplètes, etc.

¹⁵ On voit à nouveau ici comment l'étude sur la prise de conscience prépare d'une certaine manière celle sur l'abstraction réfléchissante.



Une des dernières questions traitées dans cette section est celle, difficile, du passage de l'inconscient au conscient. Que le sujet puisse avoir une conscience plus ou moins aiguë des contradictions inhérentes à sa pensée (du simple embarras à une formulation de la contradiction) montre bien l'écart qu'il peut y avoir entre l'action apparemment non consciente, en tout cas non conceptualisée, du début, et la conscience finale complète que le sujet a de son action. Plutôt qu'un passage brutal d'une action radicalement inconsciente à une action parfaitement consciente, Piaget suggère l'existence de degrés de conscience entre une action initiale qui n'est pas strictement inconsciente mais accompagnée d'une prise de conscience qui reste isolée, non intégrée à celles, également isolées, des actions précédentes et suivantes, et la prise de conscience finale, exprimée, lors de laquelle cette action est comprise comme prenant place au sein d'un système coordonné.

d. Observables et coordinations inférentielles

Les résultats des différentes recherches montrent comment les observables sur l'objet et les observables sur l'action peuvent interagir, en ce sens que la découverte de nouveaux observables de l'objet peut conduire le sujet à prendre conscience d'éléments de son action jusqu'alors laissés dans l'ombre, et vice versa. Mais dès qu'il y a ainsi mise en relation des observables sur l'objet et sur l'action, « des coordinations inférentielles s'ensuivent, qui dépassent le champ des observables et permettent au sujet de comprendre causalement les effets observés, tout en conduisant à une analyse ultérieure plus fine des observables, ce qui entretient et renouvelle le jeu de navette précédent » (p. 273). Selon les situations, l'effet mutuel de la prise de conscience des observables de l'action et de la prise de connaissance des observables de l'objet est plus ou moins rapide. Dans certains cas, l'effet peut être immédiat, dans d'autres, il peut être retardé, comme dans le cas de la balle de ping-pong, où le sujet qui a pris conscience du mouvement de descente de son doigt ne prend pas pour autant immédiatement connaissance du mouvement de rotation inverse alors imprimé par son doigt à la balle, cette prise de connaissance étant refoulée par la croyance selon laquelle le déplacement en avant de la balle implique forcément une rotation de même sens de celle-ci.

Piaget note enfin que, s'il y a symétrie dans les apports mutuels des découvertes sur l'action propre et de celles sur l'objet, les coordinations inférentielles, en favorisant une prise de conscience ou de connaissance accrue des observables, introduisent une dissymétrie dans les rapports entre le sujet et l'objet. De telles coordinations relèvent en effet forcément de la « logique du sujet » (p. 274), et résultent d'un processus d'abstraction réfléchissante portant sur les coordinations générales des actions du sujet. Ce rapport à la fois symétrique et dissymétrique, présent dans le double mouvement d'intériorisation (vers le sujet) et d'extériorisation (vers l'objet), sera repris dans la dernière section des conclusions, après que l'auteur a traité du rapport entre l'évolution des actions et les trois grandes étapes franchies par le développement

¹⁴ Piaget néglige pourtant un second point tout aussi essentiel, qui ne concerne pas la conceptualisation des coordinations, mais la seule question de la conscience nécessaire ou non de l'existence d'une opération inverse lorsque le sujet opératoire est en train de réaliser une opération directe.



des connaissances (le savoir-faire, les connaissances concrètes et les connaissances hypothético-déductives).

e. L'évolution des actions et les trois paliers de la connaissance

Deux questions sont abordées dans cette section. La première est celle de savoir si la « loi » manifestée par les conceptualisations lors de la prise de conscience, qui procèdent de la périphérie au centre, se trouve déjà sur le seul plan de l'action. L'exemple des succès constatés dans le problème de la tour de Hanoï suggère que c'est bien le cas. La marche vers la réussite se fait par des coordinations procédant d'assimilations réciproques des schèmes d'action, utilisés d'abord de manière isolée, pour aller de plus en plus vers des organisations d'actions avec leur logique interne (emboîtement, associativité limitée, etc.). Or, de même que sur le plan des conceptualisations les coordinations inférentielles sont tirées par abstractions réfléchissantes à partir des coordinations d'action, sur le plan de l'action ces dernières coordinations ne surgissent pas ex nihilo : elles sont elles aussi abstraites « de mécanismes antérieurs, tels que les processus en jeu en toute régulation » (p. 277), et, plus profondément encore des « sources organiques du comportement et des structures opératoires » (id.). En d'autres termes, dès le plan de l'action et en l'absence de toute conceptualisation, on observerait « une prise de possession progressive, avec reconstruction et enrichissement » des coordinations organiques¹⁶, de la même façon que les coordinations inférentielles intervenant dans la conceptualisation des actions sont une reconstruction avec dépassement des coordinations générales des actions.

Etant entendu que le processus de construction par abstraction réfléchissante débute déjà sur le seul plan de l'action et des savoir-faire qui le caractérisent, que devient l'évolution de l'action lorsque ce plan est dépassé par les deux correspondant aux schèmes conceptuels concrets, puis formels ? Selon Piaget, chacun des deux derniers paliers ne fait pas qu'emprunter à celui qui le précède les éléments permettant la construction des organisations de schèmes qui le caractérisent. Il agit rétroactivement sur le palier ou les paliers qui le précèdent, et donc sur les actions et leurs coordinations. Bien sûr, cette action en retour de la pensée sur l'action ne peut être constatée et étudiée que dans le cas où celle-ci est suffisamment complexe pour ne pas pouvoir être accomplie par le seul jeu des régulations sensori-motrices, et donc pour des actions dont les réussites sont à peu près contemporaines de la construction des conceptualisations correspondantes. Deux exemples ont été donnés dans cet ouvrage (la tour de Hanoï et la sériation). Mais l'ouvrage Réussir et comprendre portant tout entier sur de telles situations, c'est dans celui-ci que sera exposée une réponse détaillée de la façon dont la conceptualisation peut rejaillir sur l'action.

f. Les processus d'intériorisation et d'extériorisation

Cette dernière section traite de la signification épistémologique des faits recueillis dans cet ouvrage, et plus spécialement du constat selon lequel, partant de la périphérie commune du sujet et de l'objet, la prise de conscience de l'action et la prise de connaissance de l'objet manifestent, la première, un processus d'intériorisation vers le centre du sujet, la seconde, un processus complémentaire et solidaire d'extériori-



sation vers le centre de l'objet. Ce mouvement complémentaire d'intériorisation et d'extériorisation se manifeste sur les trois plans de l'action (sans conceptualisation), de sa conceptualisation (pensée concrète), et enfin de ce que Piaget appelle l'abstraction réfléchie (les produits de l'abstraction réfléchissante devenus objets conscients de la pensée réfléchie).

Sur le plan de la seule action, il y a déjà, du point de vue du processus d'intériorisation, passage progressif d'actions isolées, périphériques, certes déjà organiquement structurées ou régulées, à des coordinations des actions qui reflètent, en la dépassant, la logique des coordinations organiques. Du point de vue du processus d'extériorisation, ce mouvement s'accompagne de la construction progressive de structures physiques spatio-temporelles, et d'une causalité dépassant le phénoménisme des premières saisies de l'objet et permettant d'atteindre certaines propriétés objectives du réel sur lequel portent les actions du sujet. Cette double progression vers les coordinations internes de l'action et vers les propriétés des objets est solidaire pour au moins deux raisons. Premièrement, plus les coordinations entre schèmes d'action sont nombreuses et plus chacun d'entre eux trouvera de possibilités de s'accommoder à de nouveaux objets. Deuxièmement, et inversement, plus il y aura d'accommodations des schèmes à leurs objets (mouvement d'extériorisation), plus les possibilités de coordinations se multiplieront.

Par ailleurs, l'organisation spatio-temporelle des objets par le sujet et les premiers liens objectifs de causalité entre les objets dépendent évidemment des niveaux logiques des coordinations d'actions construites par le sujet. Dans l'autre sens, la construction de ces coordinations pourra être favorisée par les régularités imposées par l'objet lors des expériences réalisées sur lui par le sujet.

Sur le premier palier de conceptualisation (qui aboutit aux structures opératoires concrètes), le mouvement d'intériorisation se fait aussi bien du point de vue de l'abstraction empirique (meilleure connaissance des aspects matériels de l'action propre) que de l'abstraction réfléchissante, tirant des coordinations de l'action des « coordinations inférentielles qui, au niveau du concept, permettent de relier et d'interpréter ces observables » (p. 280). Les structures sous-jacentes aux opérations concrètes, comme le processus d'abstraction réfléchissante ayant permis de les construire, demeurent toutefois inconscientes (peut-être faudrait-il dire « largement inconscientes », dans la mesure où, tout de même, le sujet sait que telle opération est, par exemple, l'inverse d'une autre). Quant au processus d'extériorisation, son progrès est dû à la fois à des abstractions empiriques aboutissant à la conceptualisation des propriétés et des régularités des objets et à l'utilisation des produits opératoires de l'abstraction réfléchissante, qui non seulement encadrent cette conceptualisation, mais permettent aussi d'aboutir à des explications opératoires des régularités observées (sans que, naturellement, le sujet ait conscience de ce processus d'attribution des opérations aux objets).

¹⁵ Piaget observe que de tels faits se retrouvent non seulement dans des contextes de résolution de problème, mais aussi dans des contextes explicatifs (le sujet qui pense qu'un objet ne peut en déplacer un autre qu'en se déplaçant avec lui croira voir bouger les billes intérieures d'une rangée de billes se touchant les unes les autres, lorsqu'un objet heurtant la première fera partir la dernière).



Enfin, sur le second palier de conceptualisation, qui apparaît vers 11-12 ans en moyenne, le mouvement d'intériorisation procède d'une réflexion du sujet sur ses opérations de pensée et sur leurs produits (conduisant à la construction d'opérations sur les opérations, éléments de ces structures de niveau formel que sont l'INRC ou la combinatoire). Quant au mouvement d'extériorisation qui l'accompagne, il consiste dans la capacité de construire des modèles hypothético-déductifs d'une réalité à expliquer, modèles pouvant être soumis alors à un contrôle expérimentalement organisé des faits.

Ainsi les faits recueillis à propos de la prise de conscience fournissent une nouvelle illustration de la thèse centrale de l'épistémologie génétique selon laquelle le système des sciences et, en particulier, la solidarité asymétrique entre la mathématique et la physique, découlerait d'une relation circulaire fondamentale entre le sujet et l'objet. Cette relation se manifeste ici par la solidarité des deux mouvements d'intériorisation et d'extériorisation constatée sur les trois paliers d'évolution des connaissances et de l'intelligence chez l'enfant et l'adolescent.

¹⁶ Notons qu'aucun fait présenté dans cet ouvrage ne supporte cette thèse centrale du constructivisme piagétien. Néanmoins certains constats exposés dans *La Naissance de l'intelligence chez l'enfant* vont dans ce sens, de même que les arguments comparatifs exposés dans *Biologie et connaissance*, qui sont basés sur la similitude des objets, des problèmes et des solutions de la biologie de l'évolution et de la psychologie génétique. On pourrait aussi mentionner ici l'essai sur *Le comportement, moteur de l'évolution* (1976).









2. Réussir et comprendre

Avant-propos

En 1927 le sociologue D. Essertier, tout en reconnaissant l'existence d'une forme primitive de connaissance attachée au faire, à l'homo faber, prend appui sur la naissance bien plus tardive de la physique par rapport aux premiers outils, aux premières techniques, pour mettre en doute l'existence d'un lien entre ces deux formes de savoir. Tout en reconnaissant le saut qualitatif de l'une des formes à l'autre, Piaget n'en soutient pas moins la thèse d'une filiation. Dans l'ouvrage sur La prise de conscience, dont Réussir et comprendre est un prolongement, ont été exposés une série de faits permettant de mieux comprendre le mécanisme par lequel le sujet prend progressivement conscience d'actions complexes, telles que celles liées à l'usage de la fronde, actions dont la réussite est bien antérieure à leur conceptualisation. Loin d'être un simple éclairage, la prise de conscience de l'action propre implique toute une élaboration conceptuelle équivalente à celle que le sujet doit construire pour décrire et expliquer les phénomènes physiques.

Dans ce deuxième ouvrage consacré au rapport entre l'action et la pensée, il ne s'agit plus de montrer comment les sujets parviennent à prendre conscience d'actions complexes réussies avant que toute conceptualisation intervienne (comme la marche à quatre pattes), mais d'étudier des actions dont la réussite n'est progressivement atteinte qu'aux âges où, par ailleurs, on sait que les sujets acquièrent des compétences opératoires (opérations logico-mathématiques, explications opératoires des phénomènes physiques, etc.). Le problème est alors d'étudier les rapports entre « réussir » et « comprendre », mais aussi de vérifier « les lois du passage de la périphérie au centre » (p. 6) exposées dans La prise de conscience, et de poser les premiers jalons de l'étude sur un mécanisme essentiel de la construction des conceptualisations opératoires : l'équilibration des rapports entre affirmations et négations (qui sera reprise dans les recherches sur la contradiction).

Vu le caractère redondant de ces deux derniers points, il ne sera rapporté ici, en plus du résumé très succinct des expériences et de leurs résultats, que ce qui a trait à la question principale des rapports entre les réussites et les explications.



Chapitre I : Construction au moyen de cartes (avec R. Maier)

a. Le problème

Le problème est bien connu des enfants. Il s'agit de construire un château de cartes. La compréhension des actions comporte un aspect logique (des relations de réciprocité et de transitivité sont en jeu), un aspect géométrique (angle d'inclinaison, parallélisme, etc.) et enfin un aspect dynamique lié à l'appui des cartes les unes sur les autres.

b. Résultats et conclusion

A un premier niveau IA (vers 5-6 ans environ), les sujets ne parviennent généralement pas à placer deux cartes parallèlement l'une à l'autre, avec par-dessus une carte les couvrant. Après suggestion, ou lors du déroulement spontané de leurs actions, ils peuvent introduire des cartes inclinées. Leur explication est simple : une carte en tient une autre. Lorsque des cartes inclinées sont introduites dans l'action, ils ne rapportent pas cette inclinaison. Au niveau IB, des cartes inclinées sont immédiatement introduites, en plus des parallèles et perpendiculaires. L'inclinaison est alors supposée expliquer le fait qu'une carte inclinée tient contre une autre (plutôt que l'inverse). De plus, une préférence est accordée aux cartes verticales pour assurer la stabilité de la construction (préférence probablement liée à l'expérience commune d'un corps qui tombe quand on l'incline).

Au niveau IIA (à partir de 7 ans environ), les enfants comprennent que c'est l'appui mutuel des cartes inclinées qui assure leur stabilité. Mais ils continuent de privilégier la verticalité dans leur construction, et considèrent que lorsqu'une carte inclinée s'appuie contre une verticale, c'est surtout la seconde qui retient la première. Leur compréhension des relations causales en jeu est donc encore lacunaire.

Au niveau IIB, la construction du château ne pose plus de problème. Les sujets comprennent que les cartes pareillement inclinées l'une contre l'autre ne peuvent tomber. Ils comprennent également qu'une carte verticale, qui, avec d'autres, supporte une carte horizontale, ne tombe pas, cette dernière l'en empêchant. Il y a dès lors « conceptualisation claire et transitive des liaisons » (p. 17).

Au niveau III enfin, la construction du château continue, semble-t-il, à ne plus poser de problème. Les explications peuvent cependant devenir plus problématiques, dans la mesure où les sujets font intervenir le principe de l'égalité de l'action et de la réaction acquis au stade formel : la carte verticale devrait agir avec la même force sur une carte inclinée que celle-ci sur la première.

En bref, on voit dans cette recherche une progression parallèle des réussites et des explications, avec parfois des avances de la réussite sur l'explication (par exemple au niveau IIA, où l'inclinaison, quoique bien utilisée, est imparfaitement comprise), mais probablement aussi une amélioration non seulement des observables, comme le note Piaget pour le niveau IIB, mais aussi des actions elles-mêmes, en raison des progrès des explications.



Chapitre II : La chute récurrentielle de dominos alignés (avec C. Stratz)

a. Le problème

Là aussi le problème est bien connu. Dans un premier temps, après une brève démonstration avec deux dominos, on demande au sujet de placer un certain nombre de dominos debout le long d'une droite et on lui fait prédire ce qui va se passer si on pousse le premier. On lui demande aussi d'expliquer la chute des dominos (ou l'absence de chute si les dominos sont mal placés, par exemple s'ils sont trop éloignés). Dans un deuxième temps, on lui demande de construire une rangée de dominos entre un point de départ et un point d'arrivée fixés, un obstacle empêchant une simple construction en ligne droite (la solution est donc une rangée courbe qui n'empêche pas le dernier domino de tomber à la suite de la chute du premier). Là aussi les sujets doivent donner des explications.

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA (5 ans environ), les sujets arrivent généralement à anticiper que la chute du premier domino entraîne celle des autres, mais à condition qu'ils soient parallèles les uns aux autres et non pas en diagonale (il y a échec au problème mettant en jeu un obstacle). Certains sujets peuvent négliger aussi le facteur distance, lorsque celle-ci n'est pas trop excessive ; ils ne cherchent pas alors à vérifier que l'écart entre deux dominos n'est pas plus grand que la longueur d'un domino. Quant aux explications, les sujets n'évoquent que la notion alors indifférenciée de « pousser » (il n'est pas fait mention de l'angle sous lequel le domino tombe, etc.).

Au niveau IB, vers 6-7 ans, les sujets comprennent dès l'anticipation que la poussée d'un domino sur le suivant se fera à la suite de l'inclinaison du premier, et qu'il y a donc un écart maximum entre deux éléments au-delà duquel aucune chute ne se produira. Seulement, lorsqu'on leur demande ce qui se passera pour le quatrième ou le cinquième élément de la rangée en ligne droite, ils affirmeront que ces dominos ne tomberont pas, étant trop loin, selon eux, du premier. Ils n'utilisent donc pas la transitivité dans leur prévision.

Au niveau IIA, la transitivité sera cette fois pleinement exploitée, de même que la récurrence (1 fait tomber 2, qui fait tomber 3, et ainsi de suite). Des problèmes se posent par contre lorsqu'il s'agit de ranger les dominos le long d'une courbe. Les sujets peuvent se tromper sur l'angle qu'il convient de donner lors d'un virage, ainsi que sur la distance entre les dominos non parallèles. Ces problèmes sont résolus au niveau IIB, dès l'anticipation ou par correction immédiate. Enfin, les réponses du stade III ne diffèrent pas de celles du niveau IIB.

En conclusion, on voit que, comme dans la précédente recherche, les progrès aussi bien de l'action que des conceptualisations sont suspendus à une meilleure compréhension de l'action d'appuyer ou de pousser. Conformément alors à ce qui a été mis en évidence dans les recherches sur la prise de conscience, cette amélioration de l'explication résultera de coordinations inférentielles (mettant en jeu la transitivité, les réciprocités, les inclinaisons, les positions, etc.) liées aux « réglages actifs » engagés



par les enfants de niveau IB et plus pour résoudre les problèmes pratiques auxquels ils sont confrontés (p. 32). Enfin, intervient aussi dans cette progression la prise en compte de variables dynamiques (le poids notamment) sur l'analyse desquelles Piaget reviendra dans le chapitre sur « La construction d'un pont et le problème des contrepoids ».

Chapitre III : L'utilisation de la transmission du mouvement (avec C.-L. Bonnet)

a. Section I : La transmission du mouvement par des billes suspendues

Le problème

Cette recherche reprend le dispositif utilisé dans les travaux sur la causalité pour étudier l'explication par les enfants de la transmission du mouvement. Ce dispositif est composé d'une tige horizontale à laquelle on peut suspendre des billes par l'intermédiaire de crochets placés à égale distance. Dans la recherche originelle, des billes étaient suspendues à tous les crochets, de telle manière qu'aucun espace vide ne subsistait entre elles. La première bille étant écartée de la deuxième, puis lâchée contre elle, il en résultait le départ de la dernière bille de la rangée. Les sujets devaient expliquer le phénomène. Dans cette nouvelle recherche, seule la première et la dernière bille sont fixées au dispositif. L'expérimentateur demande à l'enfant d'utiliser le matériel qu'il a à sa disposition (des billes, mais aussi une règle qui peut être suspendue à l'un des crochets) pour faire partir la dernière avec la première. Un problème d'explication est ainsi transformé en un problème d'intelligence pratique et d'explication.

Les résultats

Au niveau IA, la consigne n'est pas respectée, dans la mesure où les sujets essaient d'imprimer une action directe sur la dernière bille, soit au moyen de la première, soit de leur main ou de la règle qu'ils tiennent alors, soit encore en bougeant non pas la première bille, mais la deuxième, ou une autre plus proche encore de la dernière. Ceci est conforme à la forme déjà connue d'explication de la transmission du mouvement : toute transmission est supposée se produire uniquement de manière immédiate, sans intermédiaire. Quelques sujets se rapprochent pourtant du niveau IB, moins d'ailleurs dans leurs actions que dans leurs explications, lorsque, faisant bouger ensemble les deux premières billes pour faire partir la dernière, ils affirment que, par exemple, « la seconde a tapé la noire [la dernière] et la première a tapé la seconde » (p. 41).

Le niveau IB se caractérise par le début des transmissions médiates, mais alors entendues comme une simple succession de transmissions immédiates, avec chaque fois le mouvement d'un intermédiaire venant pousser le suivant (par exemple un sujet placera la première bille, puis la règle, dans l'idée que celle-là poussera la règle qui poussera la dernière). Ce qu'ajoute cette recherche par rapport à celle sur la causalité physique, c'est que les enfants ont plus de peine à imaginer la construction de la série intermédiaire que ne pouvait le laisser croire leur explication du phénomène, alors



simplement constaté (en contraste, l'acquisition de la notion de transmission médiate interne de l'élan facilitera considérablement les constructions, puisque le choix des intermédiaires ne posera alors plus de problèmes : ils pourront être en principe quelconque, ou presque). Ce qui leur permet toutefois d'atteindre finalement la solution, c'est leur première intuition de la transitivité logique : de ce que, lorsqu'elle est poussée, la septième bille pousse la dernière, de ce que la sixième pousse la septième, etc. , enfin, de ce que la première est poussée par la main de l'enfant, il en résulte qu'il suffit de pousser la première pour que, finalement, la dernière le soit, ce qui résout le problème.

Mais cette recherche permet aussi de constater que l'action instrumentale d'utiliser un objet pour en faire bouger un autre, action que l'on constate dès l'intelligence sensori-motrice et que l'on retrouve jusqu'au niveau IA, ne se traduit pas forcément par la compréhension d'une délégation de l'action propre à l'instrument, mais plus primitivement par l'assimilation de celui-ci à cette action, qu'il ne fait que prolonger. Dans le présent problème d'intelligence pratique, le passage de IA à IB se fera dès lors que l'instrument sera vu comme un agent à part entière, un intermédiaire capable de se substituer à l'action propre pour bouger l'objet final.

Les sujets du stade II se caractérisent par une claire compréhension de la transmission médiate du mouvement, mais en utilisant de préférence de grosses billes dans les positions intermédiaires, comme si le mouvement de la première bille se transmettait ainsi de manière plus efficace. Ce n'est enfin qu'au stade III, lorsque seule compte la conservation de l'élan transmis (une petite bille transmet un élan égal à celui transmis par une grosse) que les sujets choisiront n'importe quel intermédiaire pour le placer entre la première bille et la dernière.

Parmi les conclusions que Piaget tire des réponses à cette première situation, retenons celle dans laquelle il croit pouvoir détecter une avance de la conceptualisation sur l'action chez des sujets du niveau IA, qui rapportent dans la description de leur action un ordre qui n'y était pas (cf. l'exemple donné plus haut). En pareils cas, ce serait l'ordre tiré par abstraction réfléchissante d'une coordination des actions autre que celle en jeu ici qui, joint à la délégation de l'action propre aux objets, favoriserait « la formation de la transitivité, puisque celle-ci consiste en substitutions ordonnées » (p. 50).

b. Section II : La transmission du mouvement avec des plots

Problème et résultats

Les sujets doivent déplacer une poupée vers un but sans la toucher, en manipulant seulement un plot allongé, et en employant par ailleurs toute une série d'autres plots se trouvant sur la table. Ils doivent ensuite décrire ce qu'ils ont fait et comment les divers éléments ont bougé.

Le niveau IA confirme ce qui a été constaté ci-dessus. Les sujets tendent à agir directement sur la poupée, ou alors à la pousser avec la planchette après avoir écarté les plots s'ils font obstacle, puis, après rappel de la consigne et suggestion éventuelle, à utiliser les plots de différentes manières. En ce qui concerne la prise de conscience de leurs actions, ils se contentent de dire qu'ils ont fait en sorte de pousser la poupée vers le but, sans considérer l'ensemble des actions réalisées ni leur détail. En revan-



che, certains sujets arrivent dès ce niveau à introduire les plots comme prolongement de la planchette. Après avoir rangé les plots les uns derrière les autres entre la poupée et la planchette, un enfant de 4 ans H affirmera par exemple : « j'ai poussé mon plot [la planchette], et puis ils poussaient tous » (p. 54).

Pourquoi cette différence de performance par rapport à la situation de la première section ? C'est que, dans ce deuxième cas, il est plus facile de concevoir les plots rangés les uns derrière les autres comme formant tous ensemble le prolongement de l'action propre (Piaget note que cela ressemble à l'instrument construit par l'un des singes de Köhler qui emboîtait des bambous les uns dans les autres pour former un seul bâton suffisamment long pour atteindre une banane). Contrairement à l'emploi des billes, il n'y a pas besoin pour cela de déléguer l'action propre à des objets considérés comme des agents intermédiaires.

Au niveau IB par contre, les sujets introduisent, comme pour les billes, l'idée de transmission médiate de la poussée au moyen des plots. Mais ils ne parviennent ni à prévoir les déviations des directions de poussée introduites par des plots placés de côté, ni à corriger ces déviations lorsqu'elles se produisent, ni à en tenir compte dans leur description. Il faut attendre le niveau IIB pour que ces derniers points soient acquis.

Chapitre IV : La construction d'un pont et le problème des contrepoids (avec M.-F. Graven et R. Maier)

a. Section I : le problème des contrepoids (avec M.-F. Graven)

Le problème

Il s'agit de faire passer des objets de différents poids d'une « montagne » à l'autre (en fait des boîtes), que sépare une « rivière ». Le sujet dispose de planchettes en bois, en métal, etc., ou encore de plots en liège, etc., de longueur et de poids également divers. Les solutions variées que les sujets découvrent soulèvent des problèmes d'équilibre des poids entre objets utilisés.

Les résultats

Dès le niveau IA, les sujets arrivent, par des régulations qu'ils ne sauront pas décrire, à poser différents objets les uns sur les autres pour permettre aux mobiles de passer d'une montagne à l'autre. En prolongeant l'action de leur main, qui fait alors contrepoids à la chute d'une planche, ils parviennent à déposer des objets produisant le même effet. Mais, au cours de l'action et dans la conceptualisation, il y a de fréquentes confusions entre un poids qui permet de retenir un objet et un poids qui le fait tomber, et les sujets donnent des explications très globales, imprécises ou erro-



nées pour expliquer l'effet du contrepoids (par exemple, affirmer que l'équilibre est atteint parce que l'on pose doucement une planche). Les cas d'échecs de l'action sont d'ailleurs aussi instructifs. Un sujet peut avoir mis une planche en bois sur un pilier, une autre en carton sur un second pilier ; cela fait, il essaiera alors, afin de permettre leur jonction, de mettre une planche en métal en dessus, en espérant que cela fasse contrepoids ; et si le tout s'écroule, il reconstruira la même chose, mais en ajoutant encore un plot en aluminium dans l'espoir que cela réglera le problème, quand bien même, dans d'autres contextes, il utilise le poids pour faire descendre un des deux côtés d'une planche. C'est dans l'action propre que ces deux aspects du poids trouvent d'ailleurs leur origine (puisqu'encore une fois les enfants font très tôt usage de l'appui sur une planche, soit pour faire contrepoids à sa chute, soit au contraire pour la faire tomber). La multiplicité des effets possibles d'un poids est telle que l'on ne s'étonnera pas que son usage et sa conceptualisation comportent de nombreuses contradictions.

Par contre, au niveau IB, les enfants commenceront à différencier les deux effets, du moins au niveau de leurs constructions, mais non sans encore de fréquentes confusions. Les conceptualisations de ces sujets montrent pourtant qu'ils ne conçoivent pas le contrepoids comme susceptible d'équilibrer un poids faisant tomber un corps, mais comme l'aidant à ne pas tomber. Les objets sont toujours conçus comme ayant simultanément le pouvoir de faire tomber et de retenir, eux-mêmes y compris. Ajouter un contrepoids revient alors à aider un objet à se retenir lui-même de tomber. Un sujet affirmera par exemple que « la planche n'est pas assez lourde pour qu'elle tienne seule [...] il faut donc rajouter quelque chose de lourd » (p. 75). Piaget rappelle à ce propos d'autres faits récoltés dans les anciennes recherches sur la causalité, et qui montraient les lacunes des compositions de poids ou de force chez les enfants de ce niveau. En bref, « les débuts de mises en relations auxquelles nous assistons à ce niveau demeurent plus proches des rapports caractérisant de façon psychomorphique ou biomorphique les actions en commun de partenaires susceptibles de s'entraider aussi bien que de s'opposer » (p. 76).

La fonction de compensation des contrepoids est comprise et utilisée relativement adéquatement dès le niveau IIA. Certains aspects des constructions, et les conceptualisations que les sujets en donnent, rappellent cependant les caractéristiques de la transmission médiata et semi-interne des mouvements. Une planche avec un contrepoids contrecarre la tendance à tomber de la planche sous l'extrémité de laquelle elle se trouve. Mais parallèlement à cette action, il apparaît plus prudent à l'enfant d'ajouter un autre contrepoids directement sur la planche qui risque de tomber (ce dernier pouvant alors être reconnu comme ayant un effet plus faible que le premier). L'équivalence n'est donc pas encore parfaitement reconnue entre ce qui peut être fait d'un côté et de l'autre. Ce dernier problème de construction et de conceptualisation disparaîtra au niveau IIB.

Enfin le stade III diffère simplement du niveau IIB par une conceptualisation plus systématique de « l'ensemble des conditions de l'équilibre » (p. 80). Par exemple, pour la superposition de deux planches susceptibles de faire un pont, un sujet de 12 ans affirmera « on met deux plots lourds d'un côté ou un seul de chaque côté... Si on met un plot d'un seul côté, il faut qu'il fasse le poids des deux plots, [soit] des deux planches et du personnage » (p. 81).



Conclusion

Cette recherche met bien en évidence comment l'action, sa prise de conscience, les observables constatés sur l'objet, les coordinations des actions et les coordinations inférentielles se rectifient et s'épaulent mutuellement dans leur progression respective. Les multiples actions de pousser, d'appuyer, de faire tomber, etc., aident le sujet à prendre connaissance de la dynamique du poids. Inversement, cette dynamique contraint le sujet à différencier ses actions de pousser, d'appuyer, etc. Mais seule une coordination des actions, ainsi que « des mises en relation, des constructions de fonctions et finalement des coordinations inférentielles » (p. 81) permettront de dépasser les contradictions liées aux premiers niveaux de cette triple construction ¹⁷.

b. Section II : La construction de ponts et escaliers (avec R. Maier)

Le problème

Les sujets sont invités à construire un pont enjambant une rivière, mais cette fois avec du matériel bien moins différencié : des plots qui ont tous la même base (2 cm environ) et cinq hauteurs différentes (entre 2 et 19 cm). En plus du pont, le sujet doit aussi construire un escalier permettant de grimper sur un rocher.

Les résultats

Avec ce matériel, l'idée d'utiliser des contrepoids sera plus tardive ; elle n'apparaîtra qu'au niveau IIA.

Au niveau IA (5-6 ans), il y a échec systématique de la construction d'un pont par défaut d'usage des contrepoids. L'escalier n'est pas mieux réussi. Par exemple, un sujet juxtapose des plots de même hauteur ; un autre juxtapose cinq plots de hauteur croissante, ce qui aboutit à des marches dont les écarts croissent en fonction des différences entre les cinq types de marche.

Au niveau IB l'escalier est réussi, mais pas le pont. Pourquoi les sujets n'utilisent-ils pas certains éléments comme contrepoids ? C'est que, vu le matériel, ajouter un poids sur un plot posé horizontalement sur un vertical « ne fait plus office de renforcer une partie déjà retenue par un support, mais d'équilibrer le poids que porte l'autre extrémité » (p. 87). Cela ressemble plus à l'équilibre d'une balance dont la réussite est plus tardive (que celle de contrepoids). En outre, à ce stade, et vu l'homogénéité du matériel, les sujets se centrent soit sur l'objectif à atteindre, faire un pont suffisamment long, soit sur celui d'équilibrer les parties de la construction, sans effort de coordonner ces deux contraintes.

Le niveau IIA est marqué par la réussite de la construction du pont, avec l'aide de contrepoids, mais à la suite de multiples tâtonnements qui diminuent avec le niveau IIB.

¹⁷ Nous renonçons à suivre ici dans le détail la très dense description de la façon dont ces multiples facettes de l'activité du sujet et de leurs résultats s'enchaînent les unes aux autres du niveau IA au stade III. Le lecteur pourra la découvrir aux pages 82 et 83 de Réussir et comprendre.



Les sujets du stade II différencient et coordonnent pour cela les actions d'entraîner et de retenir, et ils intègrent aussi le fait que les contrepoids agissent à distance pour renforcer l'équilibre d'un pilier. Au stade III enfin, les conceptualisations que les sujets font de leurs actions et des observables sur l'objet sont de plus en plus précises.

c. Conclusion

Dans sa conclusion, l'auteur s'arrête tout spécialement sur la nature des rapports entre les coordinations des actions du sujet et les connexions logico-mathématiques et physiques établies sur le plan de la conceptualisation. Il rappelle que « toute coordination d'actions comporte une logique » (relations d'ordre, symétrie, réciprocité, relation fonctionnelle, etc.), et précise qu'une telle coordination est l'aboutissement « de corrections et de régulations déjà à l'œuvre précédemment mais jusque-là successives » (p. 90)¹⁸. La formulation proposée ici s'applique-t-elle aux coordinations d'actions antérieures à l'apparition du langage (ce qu'implique l'emploi du « toute ») ? Si c'est le cas, cela signifie que l'on peut déjà attribuer à l'intelligence sensori-motrice le passage du successif au simultané (et après tout, cela serait conforme avec la notion d'« implication signifiante » utilisée par Piaget dans l'interprétation des conduites sensori-motrices). Quoi qu'il en soit, ce n'est pas cet aspect de la question qui est traité ici, mais celui du lien entre les coordinations d'actions, les opérations et les « connexions logico-mathématiques et physiques »¹⁹.

Ainsi dans la construction d'un pont et au niveau IA, des coordinations sont déjà réalisées par des régulations sensori-motrices guidées par les résultats des actions sans que le sujet n'ait besoin de prendre conscience des conditions des réussites empiriques. Dès le niveau IB apparaissent par contre des réglages actifs, intentionnels, de l'action, des choix délibérés lors desquels le sujet procède explicitement à des « mises en relation fonctionnelles » entre observables (p. 91). Puis viendra le passage de telles relations fonctionnelles aux « coordinations opératoires du stade II » (id.)²⁰, lesquelles, dans la construction d'un pont, résulteront de la mise en relation des poids et des variations de position et de longueur. Ajoutons que ces coordinations se retrouvent non seulement sur le plan de l'action (réussite opératoire du problème), mais aussi sur le plan de la compréhension.

Piaget peut donc conclure « qu'entre les progrès des régulations propres à l'action même du sujet et ceux des coordinations devenant explicatives il existe un rapport étroit, les premières étant d'abord guidées par les observables sur l'objet et les secondes faisant appel à des structurations opératoires endogènes, prolongeant elles-mêmes ce qui, dans les réglages de plus en plus complexes, représente la part des activités du sujet » (p. 92).



Chapitre V : Les conduites pratiques relatives à la balance (avec M. Amann)

a. Le problème

Ce chapitre reprend le problème, déjà plusieurs fois traité lors des anciennes recherches psychogénétiques, de l'équilibre des poids sur une balance. Mais cette fois ce problème est considéré d'un point de vue pratique et dans l'optique de répondre à la question générale du rapport entre la réussite pratique, avec les coordinations d'actions qu'elle met en œuvre, et les coordinations inférentielles intervenant sur le plan de la pensée.

La situation est composée d'une planche contenant un certain nombre de trous dans lesquels peuvent être insérés des poids de quatre tailles différentes. La planche est fixée sur un axe, soit en son centre, soit de manière décalée. Le sujet devra utiliser les poids pour résoudre des problèmes tels que : 1. faire descendre sur un des deux côtés de la balance une voiture qui se trouve au milieu de la planche, 2. la planche étant centrée sur l'axe, mais néanmoins inclinée, placer des poids pour qu'elle devienne horizontale, 3. la planche n'étant cette fois pas centrée sur l'axe (un des deux bras de la balance est donc plus long), mais étant aussi inclinée, rétablir l'équilibre, etc. Dans chaque cas, il doit décrire ou justifier ses choix.

b. Les résultats

Stade I

Au niveau IA (4-5 ans) les sujets ne savent pas se servir immédiatement des poids pour faire descendre la voiture. Certains agissent directement sur la voiture, ou pèsent sur la planche pour l'incliner. D'autres prennent certes un poids, mais l'utilisent alors pour pousser la voiture, ou encore pour peser sur la planche et l'incliner

¹⁸ Il est important de comprendre que chacun des termes logiques ou mathématiques utilisés par Piaget n'est en rien abstrait, mais qu'il renvoie toujours à des conduites des enfants dans lesquelles on peut effectivement constater le rôle qu'y jouent l'ordre, la prise en considération d'une symétrie, une mise en relation entre des objets dont la forme s'apparente à une fonction, au sens mathématique du terme, etc.

¹⁹ Notons aussi que Piaget considère brièvement le rapport entre les découvertes que peut faire un enfant engagé dans une activité particulière, telle que la construction d'un pont, et le développement d'opérations de portée générale. Il remarque, et c'est important du point de vue de la théorie du développement cognitif, que c'est toujours dans des contextes particuliers que les enfants réalisent les coordinations aboutissant aux opérations, mais que, par ailleurs, le jeu des transferts et des généralisations finit par donner une « forme plus ou moins générale » à ces opérations (p. 91).

²⁰ Le lien entre les relations fonctionnelles préopératoires et les opérations avait été mis en évidence dès les recherches sur les fonctions réalisées au CIEG entre 1962 et 1965. Ultérieurement, Piaget reviendra plus en détail sur le rapport entre les relations fonctionnelles et les opérations dans ses recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories, que nous exposerons plus loin.



(le poids n'est alors qu'un instrument qui prolonge l'action propre). Enfin, certains sujets cherchent à déléguer leur propre action à l'un des poids ; ne sachant toutefois pas comment s'y prendre, ils le mettent par exemple dans la voiture comme si cela suffisait à la faire descendre. Ce n'est alors que par tâtonnements successifs et grâce à la lecture des observables sur l'objet qu'ils pourront en venir à placer le poids du côté de la planche conforme à la direction dans laquelle on leur a demandé de faire descendre le véhicule. Dans les autres situations, ils se servent pareillement des poids, ceux-ci étant toujours considérés comme ayant chacun un pouvoir qu'il n'y a pas à mettre en balance avec les autres. En d'autres termes, les poids n'interagissent pas entre eux. Certes un sujet de ce niveau peut savoir qu'un poids de taille moyenne pèse plus qu'un poids de petite taille, mais alors il attribuera la capacité au fait d'être moyen (et il refusera de considérer qu'il serait équivalent de prendre plusieurs poids de petite taille pour équilibrer un poids de taille moyenne).

Si, dans leurs solutions successives, et non coordonnées, les sujets n'utilisent les poids que conçus comme prolongement de l'action propre, ou comme ayant chacun un pouvoir propre n'interagissant pas avec celui des autres, on constate par ailleurs qu'ils ne cherchent pas non plus une explication des phénomènes produits ou observés ; ou alors que, si explication il y a, elle ne repose que sur l'action propre, ou sur le pouvoir qu'aurait le poids à agir de manière largement indifférenciée, ou encore pour des raisons non pertinentes (« l'air qui passe dessous la planche » expliquerait qu'elle reste droite après que deux poids ont été placés sur elle, p. 96). Mais certains enfants peuvent tout de même être sensibles à la symétrie de la distribution des poids en certains cas d'équilibre et ils peuvent alors expliquer l'horizontalité de la planche par le fait « qu'il y a deux poids », un de chaque côté (p. 101), ce qui rapproche leurs réponses de celles du niveau IB.

Au niveau IB (6 ans environ), les sujets parviennent à exploiter assez systématiquement l'idée de symétrie, mais sans pour autant forcément considérer que chacun des poids appuie sur le côté sur lequel il se trouve, et inversement retient (ou contrebalance) le poids se trouvant de l'autre côté, c'est-à-dire sans considérer explicitement les interactions entre les poids (les sujets ne le font que de manière épisodique et grossière). A ce niveau, seule la symétrie peut donc assurer une égalisation qui reste alors toute qualitative (elle se fait au moyen de poids de même taille placés symétriquement).

Stade II

A un premier niveau IIA, les sujets commencent à faire intervenir des instruments opératoires : des poids différents peuvent être mis de chaque côté de la balance, pour autant que leurs sommes soient égales. La distance à laquelle les groupes de poids sont placés reste cependant encore forcément symétrique. Ce n'est qu'au niveau IIB (vers 9-10 ans), que la symétrie des distances pourra être abandonnée, dans la mesure où la distance commence alors à être considérée comme un facteur capable d'interagir avec le poids.



Conclusion

Piaget considère dans cette conclusion la question des « relations entre l'intelligence pratique, y compris la conceptualisation à laquelle elle donne lieu, et les notions générales de transitivité opératoire et de transmission causale » (p. 106) dont sont capables les sujets du niveau IIB et du stade III.

Les enfants parviennent dès le niveau IA à faire descendre la voiture, soit en la poussant, soit en utilisant un poids en prolongement de leur action, soit en déléguant cette action d'appuyer au poids, et en découvrant par l'observation où placer le poids pour réussir le problème. Au niveau IB, ils placent directement un poids au bon endroit. Pourquoi les enfants réussissent-ils plus vite ce problème que celui de l'équilibre de la balance ? C'est que, dans le cas de la voiture, il y a transmission immédiate de l'action de la main ou d'un poids sur le côté de la planche où l'on veut faire descendre la voiture. L'enfant n'a pas besoin de compenser une action par une autre. Par contre, dans les situations de mise en équilibre, il faut considérer les deux côtés. Une première solution peut alors s'imposer grâce à une symétrie de nature perceptive. Cet usage de la symétrie permet de faire l'économie de la considération de la transmission des actions, et le sujet n'a pas nécessairement besoin de considérer l'interaction compensatrice entre les poids. La notion de poids qui intervient à ce niveau peut donc elle aussi rester qualitative, et les effets respectifs des poids être considérés comme de simples aides à la planche pour lui éviter de s'incliner d'un côté ou de l'autre.

La question se pose alors de savoir si ce sont des problèmes d'intelligence pratique, liés à des actions qu'il convient de coordonner par rapport aux deux côtés de la planche pour assurer cette symétrie, qui conduisent le sujet sur la piste des transmissions médiates et des compensations mutuelles des actions des poids sur la planche. Pour l'auteur, la réponse est « oui et non » (p. 108). C'est bien parce que le sujet agit par rapport aux deux côtés de la balance qu'il est amené à prendre connaissance des influences mutuelles (à introduire des correspondances) entre les appuis respectifs de chacun des poids placés sur la planche. Mais Piaget souligne aussitôt que ce qui est pertinent pour le progrès de la compréhension des facteurs en jeu, ce sont les coordinations elles-mêmes, qui ne sont pas tirées des actions particulières, mais qui les mettent en connexion les unes avec les autres. Or cette « mise en connexion » est faite au moyen de réunions, d'ordinations, de mises en correspondance, etc., qui sont des activités absolument générales dont l'origine est biologique²¹.

Ce n'est donc pas dans les solutions particulières apportées par l'intelligence pratique qu'il faut chercher ou voir l'origine des notions de transmission médiate, de transitivité opératoire, etc., qui seront la clé de la compréhension de ce qui est en jeu dans des phénomènes tels que l'équilibre de la balance. On la trouvera au contraire dans ces coordinations générales elles-mêmes, en tant que point de départ du processus d'abstraction réfléchissante qui aboutira à ces notions et à la pensée opératoire, mais non sans passer auparavant par la production de « coordinations progressives » (p. 110), non détachées des actions particulières engagées dans la solution d'un problème pratique. Inversement, ce n'est que lorsque l'abstraction réfléchissante aura abouti aux coordinations opératoires et inférentielles que les actions particulières engagées dans un problème tel que celui de la construction d'un pont ne donneront plus lieu à une prise de conscience « lacunaire et déformante » (id.), et que la causalité attribuée aux objets perdra son caractère anthropomorphique.



Chapitre VI : La construction, le maniement et la conceptualisation de leviers (avec C. Othenin-Girard)

a. Le problème

Il s'agit pour le sujet de faire monter ou descendre un objet (un morceau de sucre par exemple) posé sur une table devant lui, avec un levier de forme plus ou moins compliquée selon les situations proposées (huit en tout). Le levier le plus simple est une barre que le sujet doit utiliser longitudinalement (situation I), puis transversalement (II) par rapport à l'objet (et au sujet) ; ce qui, dans le cas II, oblige le sujet à maintenir la barre horizontale tout en la poussant (ou la tirant) vers le haut (le bas) pour déplacer l'objet. Une troisième situation met en jeu une équerre, avec l'objet placé au dessus ou au dessous de sa barre transversale (III). Une quatrième, une barre pivotant autour d'un axe décalé ou non par rapport au centre de la barre (IV ; la main doit agir sur l'extrémité de la barre contraire à celle vers laquelle se trouve l'objet à déplacer). La suivante est composée du même pivot et d'une barre que devra utiliser le sujet pour agir sur le pivot qui permettra de faire monter ou descendre l'objet (V). La sixième est la même que la cinquième, sauf que la barre est fixée par une rotule au pivot (VI). Les suivantes (VII et VIII) contiennent deux ou trois successions articulées de dispositifs similaires à celui utilisé en VI, avec des variantes utilisant des directions différentes lors des accrochages d'un dispositif au suivant.

Cette progression de la complexité permet, entre autres, de voir dans quelle mesure les sujets de différents niveaux peuvent transposer ce qu'ils peuvent apprendre dans le cas d'une situation simple à une situation plus complexe. Elle devrait aussi faciliter la mise en évidence d'une progression des rapports entre l'action et la conceptualisation, dans la mesure où ce qui peut être réussi par un bref tâtonnement pratique dans le cas des situations les plus simples, ne peut plus l'être pour les situations plus complexes.

b. Résultats

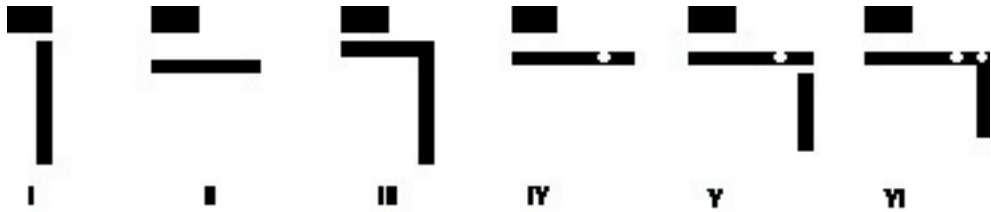
Stade I

Au niveau IA (4-5 ans), certains sujets peuvent avoir une tendance persistante à pousser l'objet avec leur main. Après répétition de la consigne, ils utilisent cependant comme les autres la barre longitudinale ou la barre transversale en la faisant monter (ou descendre) pour monter (descendre) l'objet placé au dessus (ou au dessous) de l'une de ses deux extrémités. Après démonstration, ils parviennent aussi, par imitation, à utiliser correctement la barre à pivot (IV). Quant à l'équerre (III), elle est utilisée comme si elle était une barre transversale. Leur conceptualisation de ce qui se

²¹ Piaget ne pense pas ici à une origine innée au sens où on l'entend communément aujourd'hui. Le biologique dont il est ici question relève du fonctionnement de la vie au sens le plus général du terme (dans les années 20, il utilisait la notion d'hérédité générale opposée à celle d'hérédité spéciale pour désigner la source ultime de l'intelligence sensorimotrice, puis pratique et enfin conceptuelle ; l'hérédité générale était celle de la transmission de la vie comme ensemble de mécanismes très généraux). Dans ses écrits des années 70, Piaget reviendra plusieurs fois sur ce point important de l'origine des formes biologiques, puis cognitives (selon la thèse du constructivisme génétique).

passé avec la barre à pivot ne fait pas du tout intervenir la rotation, et ils n'anticipent pas du tout ce qui se passe lorsqu'on décentre le pivot de la dernière barre. Ils croient de plus que, dans le cas de leur utilisation réussie, par imitation, de la barre à pivot (IV), le mouvement de leur main sur la barre qui a fait monter (ou descendre) l'objet montait (ou descendait) également, ce qui bien sûr n'était pas le cas.

Au niveau IB par contre, la rotation intervenant dans la situation avec barre pivotante



est d'emblée utilisée et comprise correctement, mais de manière globale ; ce que montre le fait que le sujet ne prévoit toujours pas ce qui va se passer si on décentre l'axe de rotation (le rôle causal du pivot n'est toujours pas compris, comme le montre l'exemple d'un sujet qui pose deux pivots sur la branche transversale pour renforcer le pouvoir du pivot constaté une première fois). La situation V est également réussie et comprise, dans la mesure où la barre libre avec laquelle le sujet doit agir pour déplacer la barre avec pivot est directement perçue comme un instrument prolongeant le mouvement de la main. Par contre la situation VI (deux barres articulées, dont l'une doit être à pivot) pose des problèmes à ces sujets. Par exemple un enfant pose le pivot sur la branche verticale, alors qu'un autre, après avoir placé le pivot sur la branche longitudinale, pousse la branche verticale au lieu de la tirer, ce qui laisse immobile l'objet qui se trouvait en dessus de la première.

Stade II

Dès le niveau IIA (7-8 ans) les situations IV et V ne posent plus de problème, ni de réussite ni de compréhension. Les sujets comprennent le rôle que joue le pivot dans la rotation, et ils comprennent aussi qu'un déplacement du pivot peut amplifier ou diminuer la rotation d'une extrémité de la barre qui tourne autour de lui. Mais curieusement, alors qu'ils réussissent facilement la situation V (on pousse ou on tire avec une barre libre la barre avec pivot), ils ne parviennent pas spontanément à prévoir comment procéder pour VI (on pousse ou on tire sur la barre, cette fois fixée au pivot), et ils ne comprennent pas comment cela peut marcher. C'est que, dans le cas VI, les barres étant fixées l'une à l'autre, la barre sans pivot n'apparaît plus comme un simple instrument extérieur permettant d'agir sur la barre avec pivot (grâce à laquelle l'objet sera déplacé). La rotule qui relie les deux pose un problème de compréhension au sujet, et pour faire usage de cette barre sans pivot, il doit lui imprimer à la fois une translation mais aussi un léger déplacement horizontal. Quant aux situations plus compliquées, elles ne sont réussies que fortuitement et sans nulle compréhension de l'effet produit par des rotations et des translations en série. Ce qui pose problème au niveau IIA, c'est en définitive le fait de devoir composer une rotation et une translation, et a fortiori pour les situations les plus complexes, des



rotations et des translations. C'est ce qui fait que, dans la situation VI, ces sujets cherchent à contourner la consigne soit en rigidifiant l'articulation entre la barre avec pivot et celle sans pivot (tout se réduit alors à une seule rotation), soit en procédant à la même « rigidification » et en supprimant par ailleurs tout pivot, ce qui transforme tout le mouvement en une simple translation.

Au niveau IIB par contre, la situation VI est immédiatement réussie et comprise après que le sujet a pareillement réussi et compris la V. Au contraire, dès qu'il y a articulation de deux ou trois systèmes composés d'une barre avec pivot et d'une barre sans pivot qui lui est attachée par une rotule, les réussites ne sont acquises que par tâtonnements, et les sujets ne parviennent pas à prédire ce qui va se passer lors du passage d'une variante à une autre (par exemple un système de traits vers le haut, puis vers la droite, puis vers le haut, puis vers la droite, remplacé par un système de traits vers le haut, puis vers la droite, puis vers le haut, puis vers la gauche). En bref, ce que ne parviennent pas encore à comprendre ces sujets, c'est le fait qu'une « quasi-translation agissant sur une rotation (avec inversion [en raison du pivot]) produit un effet différent de celui de cette rotation sur la quasi-translation suivante (pas d'inversion), d'où inversion entre les rotations successives » (p. 125).

Stade III

Lors du niveau IIIA, les sujets ne découvrent là aussi que par des tâtonnements la solution pour les situations VII et VIII (et leurs variantes), mais ils découvrent par ailleurs progressivement la loi d'inversion des rotations et celle de la non-commutativité des rotations et des quasi-translations. Quant au niveau IIIB, il se caractérise par une découverte beaucoup plus rapide des solutions, et surtout une totale compréhension des lois en jeu. En ce cas, le sujet peut imaginer et raisonner sur « l'ensemble des transformations possibles en fonction des quelques-unes qu'il a prévues et constatées » (p. 128).

c. Conclusion

Les résultats de ce chapitre montrent le renversement progressif qu'il y a dans les rapports entre l'action et la conceptualisation. L'action, qui domine au niveau IA une conceptualisation ne faisant qu'en fournir une description très lacunaire, en vient à être plus ou moins entièrement programmée par la pensée d'un sujet de niveau IIIB qui comprend parfaitement les lois de composition des actions de rotations et de translations.

Au niveau IA, les régulations sensori-motrices élémentaires suffisent en effet à atteindre le succès dans le cas simple de la situation II, c'est-à-dire à découvrir l'action de sens inverse au mouvement souhaité de l'objet ; mais la conceptualisation déforme complètement ce fait en soutenant que l'action du sujet a procédé dans le même sens que le déplacement de l'objet. Au niveau IB, action et conceptualisation marchent de pair jusqu'à la situation IV, globalement réussie et comprise, mais sans que l'effet du déplacement des pivots ne soit prévu ni en action ni en pensée. Au niveau IIA, la conceptualisation peut guider l'action pour la situation de pivotement la plus simple, le sujet comprenant partiellement la nature d'un pivotement. Mais dès que des rotations et des translations sont ensemble en jeu, l'action l'emporte à nouveau. Dès le



niveau IIB par contre, la coordination entre rotation et translation commençant à être maîtrisée sur le plan de la pensée, celle-ci et l'action s'appuient mutuellement l'une sur l'autre, et il y a alors « une alternance entre conceptualisations et actions bien différente des tâtonnements initiaux, qui peuvent n'être dirigés que par les schèmes sensori-moteurs antérieurs » (p. 132).

Enfin, dès le niveau IIIA, la part de la conceptualisation augmente progressivement dans les tâtonnements expérimentaux jusqu'au point où, avec le niveau IIIB, la compréhension des compositions possibles des rotations et des translations est suffisamment complète pour pouvoir programmer de manière consciente la succession des actions.

Chapitre VII : Le braquage des voitures (avec A. Moreau)

a. Le problème

Trois voitures sont utilisées. La première a un essieu avant mobile, la seconde un essieu arrière mobile, enfin la troisième les deux essieux avant et arrière mobiles (les axes des roues peuvent faire des angles de 30, de 60 ou de 90 degrés par rapport à l'axe longitudinal des voitures). Il s'agit pour l'enfant d'amener les véhicules d'un point A à un point B, avec un obstacle situé entre eux qui oblige chaque voiture à le contourner.

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, les sujets déplacent en ligne droite les voitures de A à B, en contournant eux-mêmes les voitures lorsqu'elles butent sur l'obstacle. Quand on leur montre l'effet du braquage des roues, ils peuvent s'en servir, mais sans comprendre pourquoi cela provoque une rotation. Toute modification de la distance entre A et B aboutit alors à un nouvel échec de l'action. Enfin, leurs conceptualisations sont très lacunaires. Ils décrivent le chemin parcouru et affirment qu'ils ont poussé la voiture. Après qu'on leur a montré comment utiliser les roues, ils reconnaissent que les roues servent à tourner, mais sans plus de précision.

Au niveau IB, l'essieu avant commence à être utilisé aussitôt que le sujet découvre qu'on peut le faire tourner (ou qu'on le leur montre). Leur compréhension au moins globale du rôle du braquage des roues avant est donc immédiate. Par ailleurs, une fois découverte la possibilité du braquage, les sujets n'utilisent plus l'axe longitudinal de la voiture qui était spontanément employé au niveau IA (la voiture avançant alors toujours dans le sens de cet axe et étant tournée manuellement pour contourner l'obstacle). Lorsque la distance AB est modifiée, ces sujets font partir la voiture d'un autre point de départ que A, ou alors ils corrigent en cours de route le parcours circulaire de la voiture, en forçant manuellement et par pure régulation sensori-motrice son mouvement, ou encore modifient au hasard la direction de l'axe mobile par rapport à l'axe transversal. Quant à la compréhension de la suite de leurs actions successives, elle est aussi lacunaire que celle des sujets de niveau IA.



Au niveau IIA, les enfants parviennent mieux à anticiper l'effet des rotations des essieux sur la trajectoire de la voiture, et ils prennent mieux conscience, grâce à un réglage actif, des corrections qu'ils apportent successivement au mouvement du mobile pour lui imprimer une rotation qui l'amènera au but B (ce qui fait dire à un sujet « j'ai triché », puisqu'effectivement il ne s'est pas contenté de pousser la voiture, mais a corrigé la direction de sa trajectoire en pressant dessus). Par contre, ils négligent toujours le rôle de l'axe longitudinal, ce qui les oblige à contourner la consigne dans le cas où l'on change la distance entre A et B (pour faire atteindre B à la voiture, soit ils changent le point de départ, soit ils pressent sur elle de manière à changer sa trajectoire). Lorsqu'enfin on demande au sujet de résoudre le même problème, mais avec une voiture à axe arrière mobile, il tend à mettre les roues dans la même direction que dans le cas de la première voiture. On a là un indice, parmi d'autres, que sa compréhension de l'effet des axes mobiles reste globale et lacunaire.

C'est seulement au niveau IIB (8-10 ans) que l'on trouve des sujets utilisant à la fois la direction de l'axe longitudinal et la rotation des essieux pour atteindre B à partir de A, après que l'on a allongé la distance entre ces deux points. Il faudra toutefois attendre le stade III pour que les sujets comprennent le détail des effets des variations d'angle entre l'orientation des axes mobiles et l'orientation de l'axe longitudinal ainsi que les effets contraires des axes mobiles avant et arrière. C'est alors que les sujets pourront, par coordinations inférentielles des éléments en jeu, anticiper les mouvements des voitures ou les expliquer, notamment dans le cas de la voiture à deux essieux mobiles.

Dans la conclusion de cette recherche, Piaget dresse brièvement la liste des observables et des coordinations successivement intégrés ou construits aux différents niveaux de résolution du problème et souligne les apports mutuels de leur double progression. Par exemple, le constat de niveau IIA sur l'effet que produit un changement de l'angle de braquage sur la direction de la voiture impose au sujet la nécessité de mettre en œuvre un réglage actif, basé sur la « mise en correspondance exacte entre la courbure projetée du trajet et l'inclinaison choisie pour l'axe transversal de devant » (p. 148). Une telle mise en correspondance conduit alors à « une nouvelle coordination inférentielle : chacune des courbures imprimées au trajet par la modification d'un braquage se prolonge en un cercle » dont le diamètre dépend de l'amplitude du braquage (p. 149).

Chapitre VIII : La direction d'un bateau au moyen d'un gouvernail ou d'une voile (avec la collaboration de S. Uzan)

a. Le problème

Il est proche du précédent. Un sèche-cheveux envoie du vent en direction d'un bateau à voile muni d'un gouvernail à l'arrière. Le sujet devra se débrouiller pour faire parvenir le bateau de son point de départ vers un point d'arrivée fixé d'avance. Dans une première situation, les voiles ne sont pas montées et le sujet ne peut agir que sur le gouvernail. Dans une seconde, les voiles le sont, mais le gouvernail est fixe. Enfin, dans une troisième, le sujet peut agir à la fois sur les voiles et le gouvernail.



b. Résultats et conclusion

Pour les sujets de niveau IA, la direction que prend le bateau ne dépend que de l'orientation qu'on lui donne au départ, le gouvernail ne jouant selon eux aucun rôle (et cela même lorsque l'expérimentateur agit devant eux sur le gouvernail pour faire aller le bateau dans la bonne direction). Ce n'est qu'au niveau IB que le gouvernail est utilisé après que l'expérimentateur en fait usage ou suggère son emploi. Mais alors le sujet ne comprend pas comment la direction imprimée au gouvernail agit sur celle du bateau. La seule explication des réussites est que le gouvernail guide le bateau, aucune précision n'étant donnée sur son mécanisme. Quant à la voile, son rôle reste pareillement incompris.

Au niveau IIA, les sujets parviennent après tâtonnements à dégager l'orientation qu'il convient de donner au gouvernail ou à la voile pour que le bateau aille dans telle ou telle direction. Ils décrivent alors correctement la relation entre les deux orientations du gouvernail (ou de la voile) et du bateau. Mais ils ne parviennent pas – ou s'y refusent lorsqu'on le leur suggère – à utiliser conjointement le gouvernail et la voile pour imprimer une direction donnée au mobile. C'est seulement au niveau IIB qu'ils commencent à le faire, c'est-à-dire à l'âge même où commencent les premières compositions vectorielles²². A ce niveau pourtant, les « compositions des effets directionnels sont obtenues avant que le sujet ne parvienne à des explications causales » (p. 160). Que les effets puissent être coordonnés avant leurs causes est d'ailleurs ici naturel « puisque ces effets sont observables tandis que les causes relèvent d'un mécanisme inférentiel » (pp. 160-161)²³.

Enfin, comme pour la recherche précédente, ce n'est qu'au stade III que le sujet peut, après tâtonnements ou non, expliquer et prévoir les effets conjoints du gouvernail et de la voile sur l'orientation prise par le bateau (par exemple, si on met la voile dans la même direction que le gouvernail, un sujet pourra affirmer que « le bateau ira tout droit parce que les forces s'annulent », p. 162).

En conclusion cette recherche montre comment la prise en compte des observables et leur mise en relation sont étroitement dépendantes des coordinations géométriques que le sujet est capable d'effectuer aux différents niveaux. Par exemple, au niveau IIA, le sujet peut mettre en correspondance les directions prises par le bateau avec celles de chacun des deux facteurs pris isolément. Mais il ne parvient pas encore à coordonner les effets des deux facteurs, dans la mesure où pour pouvoir le faire il faut disposer d'une notion et d'une représentation de l'espace reposant sur la construction d'un système de coordonnées. Quant à la compréhension, et non plus seulement à la mise en relation des différentes directions en jeu ainsi que des mouvements pris par le bateau, il faudra attendre la maîtrise par le sujet des compositions vectorielles et des mouvements relatifs pour qu'il y parvienne, soit le stade des opérations formelles.



Chapitre IX : L'enroulement de chaînes autour de diverses plaquettes (avec T. Vergopoulo)

a. Le problème

Soit des plaquettes dont le périmètre peut être de différentes longueurs et autour desquelles pourra venir s'enrouler une chaîne lorsque les plaquettes seront fixées par couple sur un même axe. Soit aussi des chaînes de longueur différente, dont l'une de extrémités viendra s'insérer dans un clou fixé sur le périmètre de l'une ou l'autre des plaquettes et dont l'autre sera libre. Le problème pour le sujet est de choisir des couples de chaînes qui, lorsqu'une de leurs extrémités est fixée sur un clou de l'une ou l'autre des deux plaquettes, verront leurs deuxièmes extrémités arriver en même temps en haut des deux plaquettes (dont les périmètres peuvent être égaux ou non) lorsque celles-ci sont soumises à la même rotation. En principe, la solution devrait « sauter aux yeux » puisqu'il suffit de choisir des chaînes de même longueur que le périmètre de chacune des deux plaquettes choisies par l'expérimentateur. Mais ce que montreront les résultats de cette recherche est que, loin d'être immédiate, la solution dépendra de la construction par le sujet du rapport de la longueur de la chaîne au périmètre de la plaquette qu'elle entoure, construction elle-même dépendante du niveau d'élaboration de « la géométrie du sujet » (p. 166).

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, les sujets ne tiennent compte que d'un seul facteur à la fois (grandeur de la plaquette ou longueur de la chaîne) dans leurs essais de solution. Au niveau IB, ils commencent à considérer les deux facteurs simultanément, dans la mesure où ils utilisent les grandes chaînes pour les grandes plaquettes, ou les petites chaînes pour les petites plaquettes, mais à condition que les plaquettes formant couple soient d'égale grandeur. Autrement dit, ils échouent lorsqu'il s'agit de mettre simultanément une petite chaîne sur une petite plaquette et une grande chaîne sur une grande plaquette. C'est seulement au niveau IIA que devient possible cette compensation d'une inégalité de grandeur globale des plaquettes par une inégalité de longueur des chaînes. Pourtant, c'est par tâtonnement qu'ils trouvent une chaîne ayant la bonne différence de longueur. Au niveau IIB enfin, les sujets ne considèrent plus seulement la grandeur globale des plaquettes, avec tâtonnements ultérieurs pour trouver la longueur adéquate de la chaîne ; après quelques essais, ils prennent au contraire très vite soin de mesurer la longueur du périmètre de chacune des plaquettes du couple choisi par l'expérimentateur. Quant au stade III, les sujets mesurent d'emblée la différence des périmètres pour trouver des chaînes ayant une même différence de longueur.

Dans sa conclusion, Piaget s'attache à montrer comment l'abstraction réfléchissante construit progressivement une géométrie du sujet, ou en d'autres termes des opérations spatiales et les notions qui leur sont attachées. Cette géométrie qui dépasse

²² Ces compositions ont longuement été étudiées lors des recherches sur le développement de la causalité opératoire.



« de toutes parts » celle de l'objet (p. 179) fournit les instruments préopérateurs, puis opératoires, permettant au sujet de résoudre le type de tâches illustrées dans ce chapitre et dans les précédents.

Au sous-stade IA, le sujet parvient déjà à utiliser des relations entre des éléments grands, petits ou égaux. Au niveau IB, des relations entre relations, ou « fonctions », sont « tirées par abstractions réfléchissantes des relations simples $= x$ ou $= y$ » (id. ; les deux égalités de base sont celles de grandeur des plaquettes d'un côté, de longueur des deux chaînes de l'autre)²⁴. Une nouvelle abstraction réfléchissante portant sur les relations d'ordre utilisées par l'action (choix du plus grand, etc.) permettra au sujet de niveau IIA de construire la structure de correspondance sériale lui permettant de concevoir et d'utiliser des relations réciproques pour établir des compensations là où des plaquettes de grandeur différente sont utilisées. Mais, pour qu'il puisse réussir, d'abord par tâtonnement puis par déduction, le problème des chaînes, il lui faudra utiliser puis maîtriser la notion de périmètre et son rapport avec la surface de l'objet dont il s'agit de mesurer le pourtour.

A chaque étape, le sujet devra abstraire, de l'ordre de plus en plus complexe des actions progressivement acquises, les notions, les préopérations ou les opérations lui permettant de résoudre des tâches de plus en plus complexes.

Cette recherche montre en définitive comment ce n'est pas dans la géométrie de l'objet que le sujet trouve l'essentiel des éléments lui permettant de construire la connaissance géométrique, mais dans l'organisation de ses propres actions. Les observables sur l'objet interviennent certainement dans cette construction, mais avant tout en fournissant au sujet l'occasion de construire des conduites toujours plus puissantes de transformations géométriques des objets et de lecture des propriétés géométriques des objets. Pourtant, en introduisant dans sa conclusion des considérations sur le rôle de l'abstraction réfléchissante dans la construction des notions et des opérations géométriques, Piaget ne fait pas qu'anticiper les recherches sur l'abstraction réfléchissante ; il conforte la thèse selon laquelle la compréhension croissante d'un problème tel que celui considéré dans ce chapitre – et celle de ses solutions – est suspendue à la construction de l'intelligence opératoire et ne découle pas sans autres d'une conceptualisation directe des réussites pratiques.

²³ On notera au passage un effet que ces recherches sur les relations entre l'intelligence pratique et la causalité a pu avoir sur l'évolution des conceptions piagétienne sur la construction de l'intelligence opératoire. En cernant avec plus de détails qu'auparavant la dialectique entre les observables, leurs mises en relations, la recherche des causes des régularités constatées et la construction des coordinations inférentielles qui en résultent, Piaget a mieux su dégager en quoi cette construction peut être « préparée » par la lecture et la mise en relation des observables, pour reprendre un terme utilisé ultérieurement, dans les recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories. Mais cela ne signifie pas que Piaget ait rejoint le camp de l'empirisme, puisque, comme le confirment les travaux sur la prise de conscience, la lecture des observables dépend elle-même des instruments cognitifs dont disposent le sujet (les schèmes), ainsi que de son niveau de compréhension des facteurs en jeu dans une situation.



Chapitre X : La lecture des observables en une situation de démultiplication (avec T. Vergopoulo)

a. Le problème

Il s'agit de la reprise d'un problème déjà traité dans les recherches sur la causalité (et qui sera d'ailleurs repris sous une nouvelle forme lors des recherches sur l'abstraction réfléchissante). Un fil est accroché à un clou en D, qui vient s'enrouler autour du doigt du sujet en C, avant de s'enrouler autour d'un deuxième clou B pour se terminer librement en un point A (le résultat est une sorte de N avec D en haut à droite, A en bas à gauche et C, où se situe le doigt de l'enfant, en bas à droite). On commence par demander au sujet de faire monter C. Dès le premier niveau IA, les sujets sauront tirer en A pour faire monter C. On les fait exercer plusieurs fois des déplacements de ce type, en leur demandant à chaque fois de comparer de combien A est descendu et de combien C est monté (A parcourt une distance qui est toujours le double de celle parcourue par C). Ensuite, lorsque le sujet a bien dégagé la loi du simple au double, on inverse le problème en demandant à l'enfant de combien va monter A si on fait descendre C. Enfin, lors d'une dernière étape, on prend un dispositif ne contenant plus que les points ABC. Lorsque le sujet a répondu à la question de savoir ce qui se passe en ce cas, et après lui avoir fait constater le résultat, on lui demande de décrire la différence des effets entre les deux dispositifs.

b. Résultats et conclusion

Au premier stade, les enfants n'ont aucune peine à observer ce qui se passe lorsqu'ils tirent sur A pour faire monter C. Pour eux cependant, si le chemin descendu par A est plus grand que celui monté par C, c'est simplement parce qu'on a tiré sur le premier et non pas sur le second. Lorsque, dans la deuxième partie, on leur demande ce qui va se passer si on tire maintenant non plus sur A mais sur C, ils répondront alors, en pleine cohérence avec leur explication, que le chemin parcouru par C sera plus long que celui parcouru par A ! Le même effet de l'action de tirer fait croire au sujet que les déplacements de A et C dans le cas de ACB ne sont pas égaux, cela même à l'observation. Au niveau IB, les constats seront cependant plus exacts, même si les mêmes erreurs se retrouvent dans le cas de l'anticipation.

Au niveau IIA apparaît, pour le dispositif ABCD, le même résultat curieux que celui constaté lors des recherches sur la causalité : de ce que la longueur d'un fil se conserve lorsqu'on change sa forme pour des enfants de ce niveau (7-8 ans), ceux-ci en concluent que le déplacement en hauteur de A doit être de même longueur que le déplacement en hauteur de C. Ces sujets tendent alors à voir une longueur égale ; mais comme la perception révèle une différence très claire, certains d'entre eux pourront évoquer un acte de magie, ou encore chercher à mesurer, puis évoquer des erreurs de leur mesure, ou enfin avouer tout simplement qu'ils n'y comprennent rien.

Au niveau IIB par contre, les sujets, qui rencontrent le même problème qu'au niveau IIA, acceptent mieux les faits, mais ne parviennent toujours pas à s'expliquer pourquoi la longueur parcourue par A est le double de celle parcourue par leur doigt en C, de telle sorte que certains d'entre eux en concluront qu'en ACB il en va de même.



Ce n'est qu'au stade III, vers 11-12 ans, que les sujets non seulement corrigent très vite ou anticipent dès le départ que le chemin parcouru par A en ABCD sera le double de celui parcouru par C, mais parviennent à donner la raison de ce fait, étrange au premier abord pour qui a acquis la conservation des longueurs.

Dans sa conclusion, Piaget s'interroge sur la raison pour laquelle les sujets du niveau IIB sont plus prêts à se plier aux constats de l'expérience que ceux de niveau IIA. La seule réponse qui lui paraît plausible est que les premiers ont déjà commencé à acquérir des coordinations qui entreront dans l'explication opératoire d'un système de poulies. Dès lors, au lieu de rechercher des facteurs extérieurs, tels que la magie, pour rendre compte de données qui contredisent leur croyance, ils pressentent que le problème réside dans une lacune de leur compréhension des phénomènes en jeu, d'où l'attention qu'ils prêtent aux observables, dans l'espoir d'y trouver des indices leur permettant d'aboutir à une explication adéquate.

Chapitre XI : L'effectuation de parcours équivalents (avec M. Labarthe)

a. Le problème

Etant donné deux objets, par exemple deux jetons A et B placés dans des configurations diverses, l'expérimentateur demande au sujet de leur faire parcourir deux trajets de longueur égale. Dans une des situations, les deux jetons A et B sont fixés sur une planche, seuls l'un derrière l'autre, ou à côté d'autres jetons disposés à égale distance les uns des autres. Pour déplacer les jetons, les sujets devront donc déplacer la planche de la manière qui convient. Les solutions que les sujets vont apporter au problème ne sont pas ici guidées par un but préalablement fixé (comme lorsqu'il s'agit d'atteindre une cible avec un projectile), mais par la compréhension de la notion de longueur. Les conflits et les progrès des sujets seront ainsi toujours liés à leur compréhension de cette notion.

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, les critères utilisés pêle-mêle par les sujets pour déplacer les objets selon une longueur qu'ils affirment être égale seront le plus souvent liés à la « longueur-action » (dépendante de la direction que le sujet imprime à son action, ou de la caractéristique cinétique de l'objet, sa vitesse de déplacement par exemple). Parfois, ils seront aussi liés à l'aspect ordinal de la « longueur-objet » (le point d'arrivée des

²⁴ Bien que Piaget ne discute pas ce point ici, on peut admettre que ces activités d'abstractions réfléchissantes par lesquelles le sujet met en correspondance deux relations d'égalité ne se font pas forcément dans le cadre des activités des enfants lors de la tâche à laquelle ils sont ici soumis. Ils pourraient avoir abstrait la relation d'égalité dans d'autres contextes mettant en jeu des problèmes d'égalisation géométrique portant sur plusieurs facteurs. On se reportera à ce sujet à une remarque précédemment rapportée de l'auteur sur la généralisation progressive des constructions du sujet relatives à des problèmes de même espèce (voir p. 68, note 19).



jetons après déplacement), mais alors sans être séparés des critères de type « longueur-action ».

Au niveau IB, le critère praxéologique (lié à l'action du sujet) n'est plus privilégié, comme le montre la réponse des enfants pour qui des objets embarqués sur un même véhicule sont considérés comme faisant forcément un chemin pareillement long, et cela même lorsque le véhicule (dans l'exemple des jetons, la planche) pivote autour d'un des objets. C'est la solidarité indifférenciée entre objets appartenant à une même totalité, et donc le seul mouvement d'ensemble de celle-ci qui compte. Dans les cas où les deux mobiles sont séparés (et ne sont pas liés à une plate-forme commune de déplacement), il suffit qu'un ne dépasse pas l'autre pour qu'ils soient conçus comme parcourant tous deux une longueur égale. Si un objet va plus loin qu'un autre, il fait au contraire un plus long trajet (les sujets ne considèrent pas l'ordre des points de départ).

Au niveau IIA (vers 7 ans), le basculement de l'ordre d'importance des critères qui s'esquissait au niveau précédent est cette fois complet, en ce sens que, maintenant, le critère dominant est clairement l'ordre d'arrivée des mobiles. Mais par ailleurs, les enfants commencent à tenir compte, au moins en partie, de la longueur des trajectoires parcourues par les objets (en particulier lorsque les jetons sont embarqués sur un même véhicule et qu'il y a rotation autour d'un des deux jetons). Ils le font en utilisant non seulement les positions des objets les uns par rapport aux autres, mais aussi les positions par rapport au repère de la table (un jeton se meut par rapport à elle, l'autre non). En plusieurs situations, ces sujets parviennent aussi à utiliser une longueur de chemin identifiée en tenant compte à la fois des points de départ et d'arrivée, notamment lorsqu'il y a une symétrie ou une réciprocité dans les changements de position des objets considérés (par exemple en cas de déplacement croisé des objets, comme A venant à la place de B et B à la place de A).

Ce qui s'esquisse au niveau IIA devient ensuite la norme. Les sujets du niveau IIB jugent la mesure des chemins parcourus au moyen de l'intervalle parcouru entre les points de départ et d'arrivée.

En conclusion, comme le problème dans cette recherche est explicitement de construire une équivalence entre deux mouvements, et non pas d'atteindre un but matériel, les progrès des enfants dépendent complètement de la notion qu'ils se font de la longueur (de leur conceptualisation de cette dernière). Du critère adopté dépendront alors les régulations forcément actives, et non pas sensori-motrices ou automatiques, que les sujets impriment à leur action pour atteindre le but complètement dépendant de leur interprétation de la consigne. Ce qui est le plus significatif dans cette recherche est donc la suite des critères multiples ou de plus en plus univoques que les sujets se donnent pour réaliser la tâche qu'on leur propose. Ces critères sont non seulement révélateurs du niveau de construction de la notion de longueur, mais ils guident aussi la sélection des problèmes et les solutions qu'ils découvrent pour les résoudre. Ces solutions impliquent en effet des choix d'observables et des coordinations en rapport avec la compréhension de la tâche. Par exemple, donnant la priorité à l'aspect ordinal du problème et cherchant à faire en sorte qu'il n'y ait pas de dépassement d'un objet par l'autre, les sujets du niveau IIA analysent plus finement tout ce qui a trait à un tel dépassement, ce qui les conduit à une meilleure connaissance « des positions relatives et des références » (p. 210). Lorsqu'au niveau IIA le critère des intervalles commence à prendre de l'importance (tout en restant encore secondaire par rapport à celui de l'ordre), les sujets commencent aussi par mieux prendre connaissance des



observables correspondants. Ceci les conduit à affiner progressivement ce qui, dans la notion de longueur, fait sens par rapport à ce critère.

Chapitre XII : Les conduites d'ajustement pour obtenir une réflexion en miroir (avec A. Henriques)

a. Le problème

Le problème à résoudre est d'envoyer un faisceau lumineux sur un écran, non pas directement, mais en se servant d'un miroir (ou de deux, ce qui complique beaucoup la tâche). Le faisceau lumineux venant d'une lampe de poche, l'expérimentateur a la possibilité de lui donner de nouvelles orientations, afin de mettre à l'épreuve la généralité des réussites observées. En outre, il demande au sujet de décrire non seulement son action, mais aussi le trajet suivi par la lumière entre le miroir et l'écran, cela soit par des dessins, soit en posant un crayon avec sa pointe indiquant la direction de la lumière (le trajet entre la lampe et le miroir est préalablement représenté avec le même moyen par l'expérimentateur lui-même).

Dans cette recherche comme dans les précédentes, il s'agit d'examiner comment les progrès de la compréhension rejaillissent sur les progrès de l'action, et vice versa. Piaget ajoute ici qu'il s'agit aussi d'obtenir des informations sur l'interprétation que les sujets peuvent avoir de leur activité de résolution : ont-ils conscience d'avoir procédé non seulement à des constats, mais aussi à des déductions, ou d'avoir agi en prévision de ce qui pourrait se passer ? Curieusement il ne sera plus question de cette seconde interrogation dans la suite de ce chapitre. Nous la mentionnons seulement pour signaler que l'intérêt que l'on a aujourd'hui pour les questions dites « métacognitives » n'était pas tout à fait étranger à Piaget, même si l'absence de réponse montre par ailleurs le peu de place qu'il pouvait accorder à la métacognition dans sa théorie du développement cognitif²⁵.

b. Résultats et conclusion

Au stade I, les sujets n'ont pas connaissance de l'usage du miroir comme instrument de réflexion de la lumière, et l'expérimentateur doit donc leur fournir une démonstration de l'action demandée. Après cette démonstration, ils parviennent généralement à leur tour, en tâtonnant, à utiliser le miroir pour que le faisceau lumineux sortant de la lampe de poche atteigne l'écran. Mais lorsqu'on leur demande de montrer le trajet, certains désignent directement l'écran. Lorsqu'on leur demande de représenter les trajets pour différentes positions de la lampe, ils peuvent introduire des dissymétries ; ce qui confirme d'ailleurs le fait que, lorsque la lampe est déplacée et qu'on leur demande de placer le miroir, ils découvrent seulement par tâtonnements et par des régulations purement sensori-motrices la position et l'angle qu'il convient de lui donner. Certes les sujets sont capables de décrire globalement leur action, et les emplacements choisis pour le miroir sont aussi bien signalés. Mais ils n'ont pas conscience des petites régulations de l'action par lesquelles, en cas de positionnement



global correct du miroir, ils parviennent à ajuster son angle pour qu'il renvoie correctement la lumière sur l'écran. Quant aux cas de positionnements incorrects (par exemple mettre le miroir entre la lampe et l'écran), ils sont la conséquence d'idées erronées que le sujet de ce stade peut avoir sur les miroirs.

Au niveau IIA, les sujets parviennent spontanément à utiliser le miroir pour faire parvenir le faisceau lumineux sur l'écran. Par contre, leur description et leur explication du mécanisme restent défailtantes. Par exemple un enfant pourra dire que lorsqu'on place le miroir en face de la lampe, la lumière reste dans celui-là ; ou bien encore il pourra croire que la lumière procède par bond de la lampe au miroir, puis de celui-ci à l'écran (la lumière jaillit du miroir comme quand on allume une lampe). Enfin, les sujets peuvent évoquer un glissement de la lumière sur l'écran, de telle sorte que le point d'où elle rebondit n'est pas le même que celui où la lampe éclaire le miroir.

Ce n'est qu'au niveau IIB qu'apparaît l'idée d'un faisceau continu, qui va de la lampe au miroir, puis du miroir à l'écran (la lumière ne fait pas qu'éclairer à distance). Le mécanisme de réflexion n'est pourtant pas encore compris, dans la mesure où les sujets identifient la lumière à un mobile qui se déplace et qui peut glisser différemment sur une surface, selon l'inclinaison qu'on lui donne, ce que révèlent leurs explications, mais aussi leurs dessins sur lesquels l'angle d'incidence n'égale l'angle de réflexion que lorsque la représentation du miroir est parallèle au bord de la table. Enfin, certains enfants de ce niveau ne réussissent à utiliser deux miroirs qu'après de longs tâtonnements, et d'autres n'y parviennent toujours pas.

Au stade III par contre, il y a succès quasi immédiat pour les deux miroirs, dans la mesure où les sujets les placent d'emblée de telle manière que l'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réflexion soit respectée pour chacune des deux surfaces réfléchissantes. A ce niveau, les régulations sensori-motrices permettant l'ajustement fin des miroirs n'interviennent qu'après que le sujet a commencé par déduire le positionnement des miroirs.

Dans la conclusion de ce chapitre, Piaget met en évidence la façon dont des réglages actifs, dirigés par des inférences correctes ou non, prennent progressivement le contrôle de l'action. C'est le cas dès le niveau IIA, lorsque le miroir commence à être sciemment utilisé comme un réflecteur. Cette utilisation est liée à la compréhension des transmissions médiatees qu'ont les sujets de ce niveau, transmissions conçues au moyen de la notion de transitivité de l'action. La découverte d'une telle transitivité dans le cas du miroir est facilitée par les expériences que l'enfant réalise en s'amusant à rendre visible, grâce au miroir, des objets qui ne le sont pas directement. Le miroir apparaît alors non pas encore comme un réflecteur, mais comme un transmetteur. Néanmoins, comme le sujet attribue dès lors un pouvoir causal mécanique à cet instrument, les expériences et les réglages actifs se multiplieront par rapport à lui, d'où de nouvelles coordinations inférentielles (niveau IIB), en liaison notamment avec l'inclinaison qu'il convient de donner au miroir pour obtenir l'effet souhaité. Le miroir acquiert alors son statut non plus seulement de transmetteur de l'éclairage (ou de l'objet comme projetant sa forme), mais de réflecteur d'un faisceau continu de lumière. Enfin, grâce à l'explication opératoire adéquate du phénomène de réflexion, le stade III se caractérise par une « subordination des actions à la compréhension qui assure seule leur réussite » (p. 230).



Conclusions générales

Ces conclusions comportent non seulement une synthèse des recherches sur le rapport entre réussir et comprendre, mais une anticipation des recherches sur la contradiction, et en particulier de la thèse centrale qui y est offerte sur l'équilibration entre affirmations et négations dans la construction des structures opératoires.

a. Les effets de la conceptualisation sur l'action

Nous nous en tiendrons ici aux conclusions relatives aux rapports entre réussir et comprendre (puisque nous retrouverons la question de l'équilibration entre affirmations et négations dans l'étude sur la contradiction). Piaget commence par noter que les recherches exposées dans les chapitres précédents confirment l'autonomie initiale de l'action telle qu'elle a été mise en évidence dans l'ouvrage sur La prise de conscience, la conceptualisation de l'action ne se faisant que progressivement, « de la périphérie au centre » (p. 232), et exigeant la construction d'instruments d'assimilation non donnés d'avance. D'un autre côté, les présentes recherches se distinguent des précédentes par l'attention qu'elles portent à l'influence en retour de la conceptualisation sur l'action. Les actions par lesquelles les sujets peuvent résoudre les problèmes d'intelligence pratique choisis dans ces recherches ne peuvent en effet qu'être difficilement découvertes par simple tâtonnement sensori-moteur, ce qui favorise l'étude des effets de la compréhension sur la réussite.

Dans des situations de problème simplifiées, les plus jeunes enfants peuvent certes agir de manière à atteindre les buts fixés. Mais ces réussites précoces, résultats de régulations sensori-motrices de l'action qui échappent largement à la conscience des sujets, ne donnent lieu qu'à des conceptualisations très globales, sans compréhension des raisons de la réussite (on retrouve donc en ce cas le retard de la conceptualisation sur l'action constaté dans les recherches sur la prise de conscience). Par contre, aussitôt que les problèmes sont donnés dans toute leur complexité, l'échec des enfants de niveau IA est radical et ce n'est qu'à partir du niveau IB et surtout IIA que des succès partiels sont atteints (comme dans le cas de l'utilisation de la transmission du mouvement, exposé au chapitre III). Or dès le niveau IB, il semble que ce soit d'abord au niveau de la régulation de l'action qu'une transformation importante se produit, avec le passage des régulations automatiques à des régulations actives, l'enfant cherchant à agir volontairement sur son action propre comme sur les instruments

²⁵ Peut-être « l'oubli » de revenir sur cette question dans la suite de ce chapitre tient-il au fait que le caractère conscient ou non des coordinations inférentielles auxquelles se livrent les sujets dans ces recherches soulève un problème que Piaget n'est pas encore parvenu à résoudre de manière satisfaisante, et sur lequel il reviendra partiellement dans les conclusions générales. Si l'action est essentiellement matérielle et la pensée essentiellement implicatrice ou consciente, quel est le statut des opérations et des coordinations inférentielles ? On peut aussi formuler cette question en considérant le fait que l'action n'est pas dépourvue de significations (pour le sujet), et qu'inversement la pensée opère. Comme on le verra par la suite, ce problème n'est absent ni des recherches sur l'abstraction réfléchissante (comme le montre l'usage qu'elles font de la notion d'abstraction réfléchie), ni de celles sur les rapports entre morphismes et catégories. Peut-être l'auteur espérait-il apporter un début de solution avec la présente recherche, et que, faute de la trouver, il n'en a laissé que l'énoncé.



qu'il a à sa disposition, afin de découvrir le moyen de gagner un but que les régulations sensori-motrices ne suffisent pas à atteindre.

Simultanément, ce souci de la découverte d'un moyen adéquat s'accompagne du passage d'une causalité psychomorphique vers une causalité mécanique, qui seule est efficace. Dès lors l'objet n'est plus intégré à l'action du sujet, et perçu comme un simple prolongement de l'action propre ; le sujet le conçoit au contraire comme capable de se substituer à l'action propre, celle-ci, comme l'action de l'objet, n'étant pourtant d'abord conçue que de manière très globale.

Le passage des régulations automatiques aux régulations actives, nécessaires dans le cas de problèmes complexes, aboutit au niveau IIA à de nouvelles coordinations intentionnelles des actions, ainsi qu'à un renforcement de la prise de conscience et des prises de connaissances qui porteront sur l'action propre, sur ses coordinations, sur les objets et sur les relations entre l'action et ses effets. La conceptualisation ne sera plus ultérieure à l'action, comme c'est encore le plus souvent le cas au niveau IB, mais interviendra régulièrement dans le cours même de celle-ci (sauf dans les situations où la complexité des problèmes posés échappe aux enfants de 7-8 ans).

Dès le niveau IIA, la conceptualisation commence ainsi à interagir avec l'action en participant alors à ses transformations, « sans qu'il y ait, durant ces phases de transformations [de l'action et de la conceptualisation], deux réalités indépendantes l'une de l'autre » (p. 233). Piaget précise alors, dans un passage qui fait écho à des thèses fondamentales exposées dans son Introduction à l'épistémologie génétique, qu'il y a au contraire « d'un côté, des coordinations de mouvements, donc matérielles et causales, et de l'autre des connexions logiques ou implicatrices, mais ce sont là les deux faces d'une même organisation » (id.). Ce qu'apporte alors la conceptualisation à l'action, « c'est un renforcement de ses capacités de prévision et la possibilité, en présence d'une situation donnée, de se donner un plan d'utilisation immédiate » (p. 234), ou encore un « accroissement du pouvoir de coordination déjà immanent à l'action » (id.).

Par ailleurs, dès le niveau IIA des coordinations inférentielles, basées sur des coordinations motrices acquises, peuvent diriger la résolution d'un problème tel que celui de prévoir l'effet de la rotation d'une tige lorsqu'on la pivote autour d'un point décentré de la tige (chapitre VI). Si les coordinations inférentielles prennent une importance croissante au cours du niveau IIB, il faut attendre le stade III pour que le renversement soit complet entre l'action et la perception, comme le montre l'exemple des conduites expérimentales au cours desquelles les sujets établissent leurs hypothèses théoriques²⁶.

b. Réussir et comprendre

Les liens étroits et variés entre l'action et la conceptualisation, que les recherches sur la prise de conscience et sur les rapports entre réussir et comprendre ont mis en évidence, soulèvent le problème épistémologique difficile des rapports entre l'action et la pensée, la causalité et l'implication signifiante ou encore les coordinations matérielles de l'action et les coordinations inférentielles intervenant sur le plan de la conceptualisation.

S'il y a antériorité des coordinations motrices sur les coordinations inférentielles, c'est que les premières peuvent sans cesse s'appuyer sur le présent et sur un passé



matériellement conservé (Piaget emploie l'expression un peu étrange de « conservation facile du passé, puisqu'il est aussi matériel », p. 238). Mais cette force de l'action fait aussi sa limite, puisque le possible lui échappe largement. Au contraire, les coordinations de la pensée échappent à cette limite et permettent à celle-ci non seulement de reconstruire le passé, au risque de le déformer, mais aussi d'engendrer le possible et de prévoir un avenir débordant indéfiniment l'horizon du présent. Les anciennes recherches sur la logique de l'adolescent se voient donc largement confirmées par ces nouveaux travaux (qui, sur cette question des rapports entre le réel et le possible, seront eux-mêmes prolongés dans des études encore à venir sur L'évolution du possible et du nécessaire).

Pour être matérielles et causales, l'action et ses coordinations n'en comportent pas moins une dimension cognitive importante. Or l'étude des « pouvoirs cognitifs de l'action » montre qu'elle est largement suspendue à la construction de structures d'ordre, d'emboîtements, etc., qui « préfigurent les structures opératoires ». Ces pouvoirs découlent du caractère biologique ou cybernétique (finalisé) de l'action qui fait de son organisation un système non pas linéaire, mais circulaire ou cyclique²⁷. Cela dit, si l'existence d'une logique de l'action fait comprendre comment celle-ci peut être la source d'une logique de la pensée qui dépassera largement la première, quelles sont les spécificités de l'action et de la pensée ?

En ce qui concerne l'action, Piaget note que si on peut déjà lui attribuer une conscience avec les significations qui s'y attachent (les indices perçus, etc.), cette dimension de l'action reste secondaire par rapport à l'importance des coordinations qui, elles, restent largement inconscientes. De même les anticipations que l'on peut trouver dès le plan de l'action ne reposent pas sur des déductions, mais « sur les informations antérieures et l'utilisation de l'expérience » (p. 240).

Qu'en est-il alors de la spécificité de la conceptualisation et de la compréhension (conceptuelle ajouterons-nous, car il existe déjà quelque chose qui est de l'ordre de la compréhension chez le singe de Köhler et l'enfant de 16 ou 18 mois) ? Une première différence tient au rôle qu'y jouent ce qui n'est que secondaire sur le plan de l'action, à savoir les implications significatives. C'est le cas en particulier de ce qui est « l'héritage le plus direct » (p. 241) des coordinations d'action : le système des coordinations opératoires, « qui transforme les objets de la pensée comme l'action modifie les objets matériels » (id.)²⁸. A cette première différence s'ajoute une seconde, « la détermination des raisons » (p. 241), qui aboutit à la compréhension opératoire d'un problème et de sa solution, mais qui la dépasse largement, puisque ceux-ci ne sont plus que des cas particuliers d'un ensemble de possibles. Au niveau des opérations concrètes, le champ des possibles s'inscrit encore dans l'horizon de la réalité matérielle. Cependant, « le pouvoir opératoire ainsi conquis par le sujet va se prolonger indéfiniment par la construction de nouvelles opérations sur les précédentes,

²⁶ Le résumé que nous donnons ici des recherches sur Réussir et comprendre n'est pas seulement basé sur les conclusions de cet ouvrage, mais sur les analyses et les thèses exposées par Piaget dans les chapitres précédents, ou encore dans son étude sur La prise de conscience.

²⁷ Les développements de Piaget autour des notions de cybernétique, d'organisation, d'auto-organisation, etc., utilisées dans ces conclusions manquent ici nettement de précision, même d'un point de vue non pas technique mais purement épistémologique. Ces développements quelque peu obscurs ont toutefois l'intérêt de souligner la similitude des problèmes les plus généraux que rencontrent la science du fonctionnement biologique et celle du fonctionnement psychologique, similitude longuement mise en évidence dans des ouvrages tels que Biologie et connaissance et Le comportement moteur de l'évolution.



ces opérations de deuxième puis d'*n*ième puissance s'engageant également en un monde de possibles qui dépasse nécessairement les limites de l'action » (p. 242).

Ce dépassement progressif de la pensée par l'action ne doit pas empêcher de voir que la construction des opérations concrètes, puis des opérations sur des opérations, se fait par « un mouvement rétrospectif ramenant de la périphérie au centre ». Piaget reviendra sur cet aspect dans ses futures recherches. Il en mentionne pourtant déjà les résultats principaux, dont ceux que l'on trouvera dans l'ouvrage sur Morphismes et catégories, et qui ne sont à vrai dire pas complètement originaux, puisqu'il les a déjà abordés, mais alors sans analyse détaillée, dans ses anciennes études d'épistémologie génétique. La construction de nouvelles opérations et des structures de plus en plus riches qui les caractérisent est essentiellement le fait de l'abstraction réfléchissante. Or, et là est la thèse centrale de l'épistémologie génétique, les constructions progressives auxquelles contribue l'abstraction réfléchissante ne sont pas complètement gratuites, dans la mesure où elles se font en partie en puisant régressivement dans les « mécanismes formateurs » de la pensée, de l'action, voire même de la vie. L'auteur donne ici l'exemple des catégories, objet mathématique découvert lorsque les mathématiciens du milieu de ce siècle se sont interrogés sur les procédés par lesquels l'école dite des Bourbaki a découvert des structures non dénuées de parenté avec celles, opératoires, que de son côté la psychologie génétique mettait en évidence chez l'enfant.

Enfin, Piaget rappelle comment, parallèlement à ce mouvement par laquelle la pensée dans son ensemble progresse génétiquement de la périphérie au « centre du sujet » (mais alors en enrichissant ce centre), elle progresse par ailleurs de la même périphérie en allant cette fois, dans ses explications causales, vers le « cœur de l'objet », les instruments de ces explications sans cesse approfondies provenant des opérations et des structures logico-mathématiques construites par la pensée dans le mouvement par lequel elle se rapproche des mécanismes formateurs d'elle-même, de l'action et même de la vie.

²⁸ Piaget rappelle toutefois l'isomorphisme partiel qui existe entre les deux (la réunion physique des objets en collections, ainsi que le partage physique de collections en sous-collections sont partiellement isomorphes aux opérations sur les classes).









3. Recherches sur la contradiction

Avant-propos

A la fin des années 60 et au début des années 70, un débat très nourri avait lieu en Europe autour des courants structuralistes et marxistes, en particulier sur les processus « dialectiques » et sur la « contradiction » comme moteur d'évolution du réel et de la pensée ; ce débat ne manquait pas de trouver un écho au sein du CIEG en raison de la présence de chercheurs qui, tout en s'affirmant marxistes, n'en partageaient pas moins certaines au moins des thèses du constructivisme génétique. De son côté, sans admettre la thèse d'une dialectique de la nature, Piaget n'en partageait pas moins l'opinion que de tels processus interviennent effectivement dans le développement de la pensée. Le problème s'imposait dès lors de mettre en rapport cette hypothèse avec la conception plus générale de l'équilibration des structures cognitives. Conformément à sa méthode, c'est aux faits que Piaget demandera des éclaircissements sur le rôle des contradictions, et notamment de vérifier ce que certaines expériences lui ont suggéré : à savoir, que les contradictions sont l'expression de déséquilibres dus au manque d'ajustement entre facteurs positifs et facteurs négatifs dans le fonctionnement de la pensée en ses étapes initiales.

Formulée dès cet avant-propos, cette hypothèse paraît s'opposer à la dialectique hégélienne ou marxiste, en ce sens que, pour Piaget, la contradiction n'est pas une propriété générale de la pensée (n'étant que la conséquence du déséquilibre entre affirmations et négations à des moments particuliers du développement). Notons pourtant dès à présent une précision que l'auteur apportera ultérieurement sur la notion de contradiction en jeu dans le débat. Selon lui les théoriciens marxistes n'entendent pas par contradiction la contradiction logique au sens strict (l'assertion d'une affirmation et de sa négation, qui, pas plus qu'une erreur de calcul arithmétique, ne peut être dépassée mais seulement corrigée), mais ce qu'ils appellent parfois eux-mêmes des « conflits ».

Introduction

Cet ouvrage a pour objet l'étude des relations entre la contradiction et les déséquilibres de la pensée. La première est-elle conséquence ou cause des secondes ? Telle est la question de fond à laquelle Piaget cherche une réponse. Si la seconde thèse s'avérait exacte, cela signifierait que les affirmations et négations logiques seraient d'emblée toutes données à la pensée, le déséquilibre issu d'une contradiction rencontrée par le sujet lui permettant simplement d'écarter progressivement toutes les propositions contradictoires (le développement de la pensée se réduirait à une lente



élimination d'erreurs logiques). Dans le cas contraire, il faudra montrer quelle filiation génétique il y a entre les déséquilibres, ainsi que leur traduction dans la pensée, et les contradictions logiques.

Mais si la thèse constructiviste est la bonne, cela soulève le problème particulier de pouvoir décrire des déséquilibres initiaux, ceux-ci ne se manifestant pas encore sous la forme de contradictions logiques (p. 9). Une esquisse de solution est d'emblée proposée par l'auteur. Le déséquilibre général de la pensée serait initialement lié au manque de stabilité des réponses des sujets (par exemple l'enfant qui affirme « il y a plus ici », puis un moment après « il y a moins », à propos d'une même quantité laissée inchangée), cette instabilité pouvant induire un embarras qui serait « l'aspect fonctionnel, mais non encore structural, de la contradiction » (id.). Des régulations et des compensations interviendraient alors, mais s'avérant incomplètes tant que le sujet n'a pas construit ces formes parfaites de régulations anticipatrices que sont les opérations. Enfin cette instabilité et ces compensations incomplètes entraîneraient des compositions inférentielles incertaines ou de l'indécision logique chez le sujet préopérateur²⁹. A tous ces niveaux on n'a pas encore à faire à de véritables contradictions logiques, celles-ci exigeant pour apparaître un « minimum de formalisation au sens d'une construction de formes comportant tout au moins un jeu de définitions » (p. 10 ; l'auteur annonce que, dans la suite du texte, il utilisera le terme de « contradiction » pour exprimer l'ensemble des effets des déséquilibres sur le fonctionnement de la pensée du sujet).

Les recherches sur la contradiction sont exposées dans deux volumes. Dans le premier, Piaget s'attache avant tout à étudier les « contradictions » surgissant à la suite de fausses identités, de compensations incomplètes ou d'inférences insuffisamment coordonnées, cela dans différents domaines cognitifs. Quant au deuxième volume (chapitres VIII à XVI), il s'attachera plus particulièrement à examiner de près le problème du déséquilibre entre affirmations et négations, qui semble être à la source de l'ensemble des déséquilibres cognitifs. Un premier résumé des résultats de cet examen est proposé dès l'introduction. Le manque initial de symétrie entre affirmations et négations découlerait tout naturellement du caractère orienté de toute action psychologique. Ce n'est que parce qu'une action rencontre des résistances que le sujet cherche à écarter ce qui s'oppose à l'accès direct au but visé, et en arrive à introduire des précurseurs de la négation logique dans ses comportements ou ses pensées élémentaires. Un but qui s'éloigne au lieu de se rapprocher, une attente perceptive non remplie, un jugement contrecarré par des constats logiques niant la croyance inhérente à ce jugement, tels seraient, sur ces trois plans généraux des activités psychologiques, les sources perturbatrices obligeant le sujet à introduire les négations symétriques des affirmations dans l'organisation de ses actions, de ses perceptions et de ses

²⁹ Piaget reprendra ces trois aspects au début du chapitre II, en affirmant qu'ils correspondent à trois situations fonctionnelles productrices de contradictions : l'instabilité d'une action ne conduisant pas aux mêmes résultats (l'objet sur lequel elle s'applique n'étant alors plus caractérisé par les mêmes propriétés), une compensation incomplète des affirmations et des négations, et enfin des compositions non cohérentes d'inférences résultant d'un mélange des deux premiers facteurs.



jugements. Et Piaget ajoute alors cette importante affirmation : si les contradictions impliquées dans les dissymétries fonctionnelles initiales sont si longues à devenir conscientes, c'est « parce que leur prise de conscience implique la construction des négations non données au début » (p. 12). Les recherches suivantes montreront que cette construction n'est pas une mince affaire, surtout lorsque la perturbation initiale a sa source dans les incomplétudes des premiers systèmes cognitifs plus que dans le manque d'accommodation des schèmes à la réalité extérieure.

Chapitre I : Transitivité des différences infraliminaires (avec A. Bullinger)

a. Le problème

Le problème posé est celui, classique, de l'absence de transitivité apparente du continu physique tel qu'il s'offre à la perception. Le sujet peut percevoir une égalité entre deux quantités physiques A et B (en l'occurrence, la surface de deux disques), puis entre les disques B et C, tout en constatant finalement une différence de quantité entre A et C (ou l'énième objet si la différence n'apparaît qu'avec celui-ci, par exemple un septième disque G). Comment les sujets de différents âges vont-ils lever cette contradiction apparente entre un énoncé déduit par transitivité ($A = C$, ou $A = G$) et un constat ($A > C$, ou $A < G$) ? La solution est loin d'être immédiate, puisque le sujet doit concevoir des différences imperceptibles qui s'ajoutent les unes aux autres.

b. Stade I (5-7 ans)

Les enfants de ce niveau n'ayant pas encore acquis la transitivité, ils demeurent insensibles à la contradiction en jeu dans la situation (par exemple, pour un enfant de 6 ans, $A = B = C = D = E = F$, $G = F = E$, et G est plus grand que B, C et A, sans que cela lui pose problème). Certes ces sujets peuvent être amenés à réviser un jugement concernant deux disques non voisins lorsqu'une vérification par superposition infirme un constat perceptif sans superposition (ceci ne peut se réaliser que pour des éléments suffisamment distants de la série des disques, puisque la superposition de deux disques voisins ne permet pas de détecter d'inégalité). Mais cette modification du jugement ne provoque ni conflit ni sentiment de contradiction, même lorsque cette révision aboutit à contredire une vérification précédente (exemple : après avoir vérifié que $F = G$, un sujet peut en arriver à affirmer que G est plus grand que F, E, D, C, B et A, après avoir constaté que G est effectivement plus grand que A).

On trouve aussi des réponses d'un niveau IB dans lesquelles on constate un début de transitivité, mais sans nécessité (un sujet tend à croire que, puisque $A = B$, $B = C$ et $C = D$, alors $A = C$, mais que pour A et D, il faudrait comparer en superposant les disques). Les sujets de ce niveau ne prennent pas plus conscience de la contradiction.

Lorsqu'un constat par superposition vient infirmer un jugement précédent, les sujets de ce stade se contentent de prendre acte de ce constat et de redistribuer les éléments



dans des classes apparemment disjointes, sans pour autant être sensibles aux contradictions que ce remaniement impose (exemple : ABCD regroupe les petits disques, et EFG les grands, avec par ailleurs une égalité de D et E). Tout au plus voit-on un sujet de niveau IB affirmer que G change de grandeur lorsqu'on le compare à F, alors réuni avec E et G, puis lorsqu'on le compare à A réuni avec ABC, D étant vu comme égal à ABC et à EFG.

c. Stade II

Niveau IIA (7-8 ans environ)

Les sujets de ce niveau ont acquis la transitivité logique et sont ainsi sensibles à la contradiction entre ce qui, selon eux, devrait être (par exemple, l'égalité de A et de G, résultant du constat des égalités successives) et ce qui est (leur inégalité de fait). Si les sujets sont alors conscients de la contradiction, ils ne parviennent pas pour autant à la dépasser.

Disposant de la transitivité logique, les sujets n'éprouvent pas le besoin de vérifier l'égalité de A et G qu'ils déduisent des égalités successives constatées entre éléments de la chaîne. Aussi, lorsque l'expérimentateur les prie de procéder quand même à cette vérification, ils trouvent anormal le constat qu'ils font alors, ce qui les incite à croire qu'ils ont mal regardé. S'ils distribuent alors les éléments entre grands et petits, ils se posent aussitôt le problème des termes les plus proches appartenant chacun à l'une des deux classes disjointes, ce qui les conduit à constater l'égalité de ces termes, et donc à une nouvelle contradiction ! En désespoir de cause, ces sujets en arrivent, non pas à remettre en cause l'hypothèse initiale d'une égalité des termes et à supposer l'existence de différences imperceptibles, mais soit à en rester à ce constat d'une contradiction, soit à annuler celle-ci en déformant un constat par superposition (par exemple à voir B plus grand que A), soit à admettre, comme certains sujets du premier stade, que la grandeur de G change, mais cette fois de façon subjective (G comparé à A s'agrandirait non pas réellement, mais en apparence).

Niveau IIB (7-8 ans environ)

Après constat d'une contradiction, les sujets de ce niveau se rapprochent de la solution, soit en évoquant l'idée d'une succession de petites classes (et non plus d'une pure et simple dichotomie), ce qui ne résout pas le problème mais multiplie en quelque sorte les contradictions, soit en suggérant sans en être trop sûrs l'existence de différences que l'on ne peut pas percevoir. Certains sujets doutent pourtant que cela soit vraiment possible, et d'autres finissent par nier cette solution en jugeant que toutes les minuscules différences prises ensemble ne peuvent pas expliquer la différence entre A et G.

d. Stade III



Une fois constatée la contradiction entre l'affirmation d'une égalité résultant de la transitivité des constats entre chacun des couples successifs et le constat d'une inégalité bien réelle entre A et G, ces sujets proposent immédiatement la solution qui s'impose : l'additivité de différences imperceptibles entre chaque voisin.

e. Conclusions

Piaget observe que l'élément clé qui conduit les sujets à la prise de conscience de la contradiction est la tentative de séparer les disques en deux ou plusieurs classes après le constat de l'existence d'une inégalité à côté des égalités jusqu'alors vérifiées. Une fois construites deux classes d'équivalence (par exemple les grands et les petits), le sujet découvre que certains éléments appartiennent à chacune de ces classes et semblent donc porter à la fois un caractère et son contraire. D'où l'inévitable contradiction. Mais pour parvenir à en prendre conscience, encore faut-il disposer de l'opération de négation permettant d'opposer une classe à sa complémentaire, ainsi que de la capacité de concevoir que « plus petit » ou « plus grand » sont la négation de « égal », capacité dont ne disposent pas les enfants du premier stade. Une fois acquises ces négations et l'opération de transitivité, les sujets prendront conscience sans trop de difficulté de la contradiction ; mais la solution qu'ils donneront à ce problème dépendra de la possibilité d'additionner des imperceptibles ou des possibles, ce qui « va sans doute de pair avec [l'acquisition de] la distributivité » (p. 29).

Notons enfin une brève discussion du problème, peut-être un peu « sibyllin », de savoir s'il convient ou non de tenir pour virtuellement présent la contradiction entre, par exemple, $A = G$ et $G > A$, chez les sujets du premier stade, donc en l'absence de toute prise de conscience. Piaget tend à répondre par l'affirmative là où un physicien nucléaire (il y en avait au CIEG) « se délecterait [des réponses apparemment contradictoires des jeunes enfants] et y verrait des cas élémentaires de complémentarité [physique] » (p. 30)³⁰.

Chapitre II : La contradiction dans les compositions partitives (avec J.-J. Ducret, section I, et A. Henriques, section II)

a. Section I : Les compositions spatiales

Le problème auquel sont confrontés les sujets de cette recherche est de coordonner deux jugements qui impliquent une contradiction relativement à l'addition des surfaces. Deux grands carrés de même surface sont construits, l'un avec des petits triangles l'autre avec des petits carrés, les uns et les autres étant tous égaux entre eux,

³⁰ La physique quantique a fait s'évanouir la croyance, profondément enracinée dans le sens commun adulte, en l'universalité du principe du tiers exclu (une chose ne peut être simultanément x et non-x). Les êtres de la mécanique quantique sont à la fois onde et particule, deux qualités qui dans l'ancienne physique s'excluaient.



bien que la perception et des facteurs figuratifs connus (dépassement des frontières d'un objet par un autre objet) incitent les sujets à croire que chaque triangle est plus grand que chaque petit carré. Comme on va le voir, les contradictions dans lesquelles s'empêchent les sujets du deuxième stade sont la conséquence de compositions inférentielles lacunaires.

Stade I

A un premier niveau IA (5-6 ans environ), les sujets n'ont pas conscience d'un quelconque problème lorsque, après constat, ils affirment l'égalité des deux grands carrés issus de la juxtaposition des quatre petits triangles et des quatre petits carrés (les triangles étant jugés par eux plus grands que les petits carrés). Ils n'ont pas conscience d'une contradiction, parce qu'ils n'essaient pas de mettre en rapport par composition additive les petites formes et les grandes formes obtenues par jonction des premières.

Au niveau IB par contre (6-7 ans environ), les sujets commencent à considérer le mécanisme même de construction des grands carrés. Par exemple, après avoir affirmé que chacun des quatre petits triangles est plus grand que chacun des quatre petits carrés, un sujet pourra anticiper avant toute vérification, l'égalité des deux grands carrés issus de la juxtaposition des premiers en justifiant cette égalité par le fait « qu'ils ont le même nombre » d'éléments (p. 36). Pour ces sujets, alors également insensibles à la contradiction, la composition d'un même nombre d'éléments jugés inégaux peut produire des surfaces totales égales, un enfant précisant même que c'est normal parce que la quantité totale « dépend de la façon dont on les construit » (p. 38). Les enfants du niveau IB considèrent bien la composition du tout au moyen des parties, mais cette composition ne présente pas encore les deux propriétés voisines qui la rendraient additives. Selon la première, un élément conserve sa grandeur lorsqu'il est incorporé dans un tout, ce qui n'est pas admis par les sujets de niveau IA, pour qui cet élément peut hériter des caractéristiques du tout dans lequel il est plongé, par exemple devenir plus grand. Quant à la seconde propriété, elle consiste dans le fait qu'une composition additive conserve les inégalités des parties composant les deux totalités, ou, en d'autres termes, qu'elle ne peut compenser ou réduire une inégalité de départ (conception que l'on rencontre chez les sujets de niveau IB, qui évoquent par exemple un positionnement différent des éléments en jeu, et non plus leur agrandissement ou leur rétrécissement).

Niveau IIA

Les sujets de ce niveau (7-8 ans) commencent à prendre conscience de la contradiction. Ils anticipent en effet l'inégalité des deux carrés totaux, puisque ceux-ci seront le produit, l'un de la juxtaposition des quatre petits triangles, l'autre de celle des quatre petits carrés, et puisque, selon eux, chacun de ces derniers est plus petit que chacun des triangles. Les deux grands carrés étant alors comparés, les enfants reconnaissent leur égalité, ce qui les embarrasse, car ils ne comprennent alors pas comment l'addition de quatre surfaces petites peut aboutir à une surface égale à l'addition de quatre autres un peu plus grandes que les premières. Cet embarras peut les conduire à reprendre l'argument proposé par certains sujets de niveau IB, argument selon lequel



le fait de composer d'un côté des triangles et de l'autre des carrés peut aboutir à une égalité, dans la mesure où les composants de l'addition sont de forme différente. La composition additive des surfaces n'est donc maîtrisée chez eux que lorsque ces composants sont de forme homogène. Dans le cas contraire, ils ne savent pas comment compenser les inégalités qu'elles présentent selon différentes dimensions, d'où leur apparente régression, qui ne fait cependant pas disparaître leur malaise cognitif.

Après avoir pris conscience de la contradiction, un des sujets en arrive pourtant à affirmer, sans en être convaincus, que les petits triangles sont égaux aux petits carrés ; mais il ne comprend pas pourquoi et affirme ne pas savoir comment vérifier cette égalité.

Niveau IIB et III

Les sujets de niveau IIB et de niveau III vont lever la contradiction (comme le dit un enfant : « on voit qu'un petit triangle est plus grand qu'un petit carré, mais ce n'est pas vrai », p. 43), soit après quelques tâtonnements et hésitations pour les premiers, soit directement et avec une claire compréhension de la situation pour les seconds. Un des sujets du troisième niveau parvient ainsi à expliquer que, même si un triangle paraît plus grand qu'un carré de même surface, ce n'est pas vrai parce que, si on pose le premier sur le second, « il y a un bout [du triangle] qui dépasse et un bout [du carré] qui n'est pas recouvert » (p. 43), ce qui assure la compensation des inégalités selon les différentes dimensions.

Conclusions

Une première conclusion à tirer est que la prise de conscience comme son dépassement sont liés à des inférences plus ou moins lacunaires chez les sujets de niveau II et III. Chez ceux de niveau I au contraire, l'insensibilité à la contradiction s'explique par l'absence d'inférences quant à la composition des grandes surfaces au moyen des surfaces plus petites. Par ailleurs, les lacunes des compositions inférentielles peuvent être dues à deux facteurs : l'instabilité des jugements sur l'égalité ou l'inégalité des surfaces composantes (chez les sujets de niveau IA le triangle peut être vu et jugé plus grand dans un contexte, et égal dans un autre contexte), et une compensation fallacieuse qui permettrait d'annuler l'inégalité des surfaces composantes lorsque celles-ci sont incorporées dans deux totalités de même surface. Seulement, cette dernière annulation va à l'encontre de ce que le sujet acquiert progressivement quant aux propriétés de l'additivité des compositions de surface (le tout égale la somme des parties, quelle que soit la forme de celles-ci). Quand le sujet en arrive à expliciter ce principe, au niveau IIB, la contradiction saisie cette fois dans toute sa signification logique le contraint à ajuster avec précision l'extension des schèmes jusqu'alors utilisés pour apprécier la valeur des surfaces en jeu, et à réaliser de nouvelles compositions, expliquant comment dépasser l'apparente inégalité d'un triangle et d'un carré de même surface pour fonder logiquement une égalité qui s'impose par ailleurs.

b. Section II : Compléments sur les contradictions logiques et la composition des formes hétérogènes



Piaget rapporte ici les résultats d'une brève recherche dans laquelle l'expérimentateur demande au sujet de construire des figures impossibles (par exemple un carré à trois côtés), ou au contraire des figures qui peuvent paraître contradictoires alors qu'elles ne le sont pas (comme plier un carré pour qu'il fasse quatre triangles).

Dans le premier cas, avant d'en arriver à juger immédiatement l'impossibilité de cette tâche en raison de la contradiction logique qu'elle contient, les sujets passent par deux étapes : une étape initiale (vers 5-6 ans), lors de laquelle ils proposent des solutions qui peuvent les satisfaire ou non, mais sans que cela les incite à prendre conscience d'une quelconque contradiction (ils affirment que l'adulte peut réussir là où ils échouent) ; puis une étape intermédiaire où ils cherchent encore une solution en oscillant entre la croyance en une réussite possible et la croyance qu'un carré à trois côtés, « ça n'existe pas » (p. 50).

Dans le second cas, les enfants les plus jeunes (5-6 ans) jugent impossible de plier une feuille carrée pour en faire quatre triangles (« parce qu'il n'y a pas de triangles » dans le carré, p. 53). A une étape intermédiaire, on voit des sujets replier les quatre coins du carré, mais sans rabattement suffisant, avec le sentiment qu'il n'est pas possible de faire mieux. C'est seulement au niveau IIB (vers 9 ans) que la solution est atteinte.

Cette recherche confirme ainsi la difficulté que les jeunes sujets ont de relier des formes hétérogènes (ici faire d'un carré un triangle).

Chapitre III : Réactions à l'irrationnel et doubles inversions (avec M. Robert)

a. Le problème

Le problème posé ici (qui recoupe en partie les anciennes recherches sur la genèse du hasard) découle d'un trucage. L'expérimentateur dessine un trait sur un côté d'une allumette, fait constater au sujet qu'il n'existe pas d'autres traits sur les autres côtés, place l'allumette sur la table, avec la croix vers le haut, la prend avec les deux doigts d'une main, lève celle-ci, puis la rabat sur la table en faisant subir à cette main et à l'allumette une rotation haut-bas très visible, mais en complétant parfois cette rotation de l'objet par une autre, imperceptible, au moyen des deux doigts qui le tiennent. La rotation visible de la main (et donc de l'allumette) devrait aboutir à ce que la croix, qui était visible lorsque l'allumette était posée sur la table, devienne invisible (passe dessous). La rotation imperceptible réalisée avec les deux doigts annule au contraire ce premier effet et fait donc que la croix demeure visible. Aux sujets qui comprennent qu'il y a trucage, on présentera deux allumettes l'une avec la croix dessus et l'autre avec la croix dessous, et on leur demandera comment il faut faire pour que le trait passe apparemment d'une allumette sur l'autre.



b. Stade I

Ayant dessiné lui-même le trait sur un côté de l'allumette, puis constaté, en la retournant, qu'il n'y a qu'une seule croix sur les branches, l'enfant de ce premier stade est d'emblée surpris de voir que, lorsque c'est l'expérimentateur qui tourne l'allumette, une croix est visible sur celle-ci ! Il refuse même de se satisfaire de cette constatation et cherche une explication sans parvenir à en trouver une, ou alors en inventant des lois tout aussi surprenantes. Un sujet soutiendra par exemple que lors du retournement « il y a un peu de trait qui passe de l'autre côté » (p. 58), ce qui ferait qu'il y aurait une croix de chaque côté. Ce qui est caractéristique de ces premières réactions par rapport aux suivantes est que le sujet cherche la solution dans les propriétés de l'objet et non pas dans l'action de l'expérimentateur (même s'il dit qu'il y a un truc). Rechercher du côté de celle-ci relèverait davantage de l'abstraction réfléchissante (qui porte sur les transformations).

c. Niveau IIA (7 ans environ)

Après chaque saisie de l'allumette, puis rotation des mains, ces sujets s'attendent à voir l'inverse de ce qu'ils viennent de voir (visible si le trait était invisible ou l'inverse), et ils sont comme les sujets du stade I surpris par le résultat. Ils chercheront dès lors eux aussi des explications dans les propriétés de l'objet, allant même jusqu'à croire que l'allumette une fois saisie et tournée acquiert deux traits ou encore que le trait passe d'un côté à l'autre de l'objet. Comme ils peuvent vérifier que l'allumette posée sur la table n'a bien qu'un seul trait, ils en arrivent tout de même à suspecter que « si les traits à l'envers n'apparaissent que dans la main, celle-ci pourrait y être pour quelque chose » (p. 62). Ceci les conduit à se douter que les allumettes ont été tournées deux fois, mais ils ne peuvent s'expliquer comment un tel truc est possible.

d. Niveau IIB, stade III

Les sujets de niveau IIB résolvent rapidement le problème en soutenant la nécessité d'une double rotation. Enfin, ceux du stade III comprennent que cette double rotation est réalisée d'une part par le mouvement de rotation très visible des mains, et d'autre part par un mouvement imperceptible des doigts tournant l'allumette.

e. Conclusions

Piaget remarque que la contradiction apparaissant dans cette recherche naît du constat qu'une même action semble aboutir à des résultats différents. Il y a dès lors perturbation pour le sujet qui ne saura pas ce qui va se passer si l'action est une nouvelle fois produite. Pour expliquer qu'un trait apparaisse alors qu'il ne le devrait pas, les sujets avancent une autre contradiction selon laquelle une action réalisée par eux sur la table peut donner des résultats différents si elle est effectuée en l'air. Il faudra toutefois un pas de plus pour éliminer complètement la contradiction : attribuer à la coordination des actions effectuées en l'air l'explication du résultat inattendu. Partant d'explications centrées à tort sur l'objet, le sujet remonte à une action supposée



transformer matériellement et mystérieusement l'objet, avant de concevoir la solution consistant dans une telle coordination (avec les aspects positifs et négatifs qui la caractérisent).

Chapitre IV : Les contradictions relatives au ressort (avec A. Munari et I. Papandropoulou)

a. Le problème

Le problème posé aux enfants est celui des « relations entre l'allongement d'un ressort et l'invariance de la longueur du fil dont il est composé » (p. 66). Les contradictions qui pourront surgir proviendront du modèle que les sujets se font d'un ressort à spirales que l'on étire (et dans lequel on peut passer des billes pour mesurer la longueur de son fil). S'il est vrai, comme les recherches sur la causalité l'ont montré, que l'explication causale est liée au développement des opérations logico-mathématiques, les incohérences et contradictions rencontrées au sujet des variations de longueur impliquées dans l'étirement du ressort devraient être similaires à celles liées aux situations logico-mathématiques utilisées dans les deux premières recherches.

b. Stade I

Les enfants de ce stade (4-5 ans) conçoivent un allongement du fil du ressort en même temps qu'un allongement de celui-ci pris globalement. A un niveau IA, les raisons qu'ils vont donner à ce double allongement présenteront de fait de nombreuses contradictions, mais dont ces sujets n'ont pas conscience (exemple : un ressort devient plus long parce qu'on le tire, mais pour un autre ressort étiré il n'y aura pas besoin d'ajouter des billes, « parce qu'il y a [déjà] trop de perles [et qu'] on ne peut pas en mettre [plus] », p. 69). Ces contradictions ne sont pas très intéressantes, parce que découlant du fait que le sujet ne relie pas les constats et les jugements successifs qu'il formule à propos du ressort.

Au niveau IB par contre, les contradictions comportent une dimension structurale et non plus seulement fonctionnelle. Les sujets soutiendront en effet que, bien que, selon eux, le fil ne s'allonge pas lorsqu'on étire le ressort, on peut pourtant y placer plus de billes. Bien sûr les sujets n'affirment pas simultanément une proposition et sa contradictoire ; mais la formulation d'un jugement sur un nombre plus grand de billes implique un fil plus long, sans que le sujet ait alors conscience de cette implication. Les contradictions en jeu sont liées à des inférences insuffisamment coordonnées.

c. Stade IIA et IIB

Les sujets de ce niveau (7-8 ans) oscillent entre des affirmations contradictoires (ils considèrent le fil comme s'allongeant, puis comme restant le même), mais cette fois en prenant conscience du caractère contradictoire de leurs réponses successives, ce qui les conduit le plus souvent à adopter finalement la réponse correcte. Mais le



progrès principal par rapport aux enfants du stade précédent est qu'ils explorent plus minutieusement les conséquences d'une affirmation. La prise de conscience de la contradiction est d'ailleurs directement liée à cette « capacité opératoire de coordonner les assertions entre elles » (p. 76), cette capacité consistant elle-même « en une composition des affirmations et des négations comportant un jeu de compensations en quoi consiste la non-contradiction » (id.).

Dès le stade IIB, il n'y a plus aucune contradiction, le sujet considérant immédiatement que, si le ressort s'allonge, ce n'est pas le cas du fil qui le constitue.

d. Conclusions

Dans ses conclusions, Piaget commence par faire la liste des observables ou des jugements corrects relatifs au non-allongement du fil (même nombre de tours de spire, même nombre de perles que l'on peut placer sur le fil, etc.), la liste des observations complémentaires en rapport avec le changement de grandeur du fil (changement du nombre de spires, du nombre de perles, etc.). Il établit une liste similaire concernant l'allongement du ressort dans sa globalité (augmentation de la distance entre le point de départ et d'arrivée, espacement des spires, etc.), puis la liste des observations complémentaires. Les contradictions résulteraient d'une répartition incorrecte des observables, avec attribution d'une partie commune aux deux premières classes en réalité complémentaires de l'allongement ou du non-allongement du fil (même longueur et plus de perles). Ces répartitions erronées découlent d'inférences non suffisamment coordonnées entre elles.

L'inférence trompeuse qui entraîne les sujets vers une contradiction est celle selon laquelle l'écartement plus grand des spires dû à l'allongement du ressort permet de placer plus de billes sur le fil. Il y a ici indifférenciation relative de l'étirement du ressort et de la longueur du fil qui, bien que considérée comme inchangée par les enfants des niveaux IB et IIA, devrait, selon eux, pouvoir porter plus de billes, dans la mesure où il y a plus de place apparente entre les spires. Contrairement à ce qui se passait pour le problème de l'additivité des différences infraliminaires (où le sujet était obligé d'introduire par déduction des imperceptibles physiques), le progrès qui permettra d'échapper finalement à la contradiction résulte à la fois de l'abstraction empirique et de l'abstraction réfléchissante³¹. La première conduirait à une différenciation accrue des classes d'observables relatifs au fil d'un côté, au ressort dans sa globalité de l'autre ; la seconde interviendrait dans le processus d'intégration aboutissant à une véritable conservation de la longueur du fil (avec compensation de la plus grande place qu'elle peut réserver aux billes en hauteur, par une plus petite place laissée en largeur), de nouvelles « implications significatives » et de nouvelles compositions des affirmations et des négations permettant d'atteindre une compensation complète entre ces dernières. En d'autres termes, dans la présente recherche, « la composition des affirmations et des négations n'est plus une affaire de forme seulement, mais de contenu également » (p. 80).



Chapitre V : Les différentes attitudes face à la non-confirmation d'une prévision (avec T. Vergopoulos, section I, et C.-L. Bonnet, section II)

a. Section I : La contradiction dans un phénomène paradoxal de montée

L'expérimentateur pose sur un plan incliné deux roues dont l'une descend normalement, mais dont l'autre, qui contient un poids caché dans sa jante, peut remonter de quelques centimètres si le poids se trouve en haut de la roue, du côté de la montée. Comme pour la recherche sur la rotation d'une allumette, la contradiction surgira ici au sein des inférences que les sujets font pour expliquer le phénomène. Dans une troisième situation l'expérimentateur met à disposition de l'enfant une roue sur laquelle il n'y a pas de poids, ainsi que des boulettes de plasticine qu'il peut coller sur la jante pour en étudier les effets.

Stade I

La montée de la roue n'étonne pas les sujets d'un niveau IA (comme le dit un enfant de 5 ans H, « c'est normal, quand la boule est en bas elle monte, et quand elle est en haut elle descend », p. 85).

La contradiction apparaît au contraire chez des sujets d'un niveau IB qui s'attendent à ce que la roue descende et qui la voient monter. Piaget reviendra ultérieurement sur le problème de savoir pourquoi le sujet, qui à un niveau IA n'était pas surpris du démenti apporté à ses prévisions par l'expérience le devient au niveau IB. Quant au problème de la façon dont les enfants de ce niveau réagissent à la contradiction, il observe que tous recherchent une solution en faisant intervenir la notion de poids. Pour ces sujets, si une roue descend le long d'une pente, c'est à cause de son poids. Comme l'une des deux roues ne le fait pas, ils tendent alors à différencier des poids agissant dans un sens d'autres agissant dans le sens contraire (ainsi la « lourdeur » du poids de la roue pouvant paraître expliquer l'immobilité de celle-ci en une certaine situation, certains enfants généralisent cette explication au cas de la roue qui monte). Mais comme par ailleurs la lourdeur est généralement évoquée pour expliquer la descente d'un objet, et que, de fait, cette explication est la bonne, la solution proposée est instable et ne peut que conduire à de nouvelles contradictions (notamment lorsqu'il s'agit de classer les « lourdeurs » qui font monter et celles qui font descendre). Pour qu'un système de classes soit non contradictoire, il faut en effet que « que les caractères x et non- x des classes complémentaires se compensent exactement : $x \cdot \text{non-}x = 0$ » (p. 87).

Quant à la situation avec les boulettes de plasticine, si les enfants arrivent par tâtonnement et avec des suggestions de l'expérimentateur à utiliser celles-ci pour faire monter ou descendre la roue, ils ne saisissent pas ou mal les régularités en jeu et ne

³¹ Notons pourtant que des abstractions « pseudo-empiriques », c'est-à-dire des constatations logico-mathématiques sur l'objet modifié, interviennent probablement aussi dans le dépassement des contradictions liées à des problèmes logico-mathématiques tels que ceux soulevés dans la composition additives des surfaces !



parviennent pas à expliquer les effets autrement que par l'évocation d'une notion incorrecte de poids.

Niveau IIA

Les sujets de ce niveau prennent conscience que l'on ne peut pas évoquer globalement la notion de poids pour expliquer, dans un cas, que la roue descend, et dans l'autre, qu'elle monte. Ce n'est que lors de la troisième situation, lorsqu'ils auront l'occasion d'expérimenter le phénomène en plaçant de la plasticine sur le bord de la jante qu'ils prendront conscience du rôle joué par la répartition du poids sur la roue. Mais comme ils ne comprennent toujours pas le phénomène, leurs explications restent incomplètes et ils finissent généralement par avouer ne pas comprendre.

Niveau IIB, stade III et conclusions

Dès le niveau IIB (7-9 ans environ), les sujets soupçonnent une répartition asymétrique du poids sur la roue (« ma parole, dira un enfant d'un peu plus de 9 ans, il doit y avoir un poids là-dedans », p. 90). La situation avec la plasticine leur permet de découvrir progressivement le modèle explicatif de l'effet du poids sur les mouvements de la roue. Enfin, les explications des sujets du stade III (adolescents) sont simplement plus complètes que celles du niveau IIB.

Dans les conclusions relatives aux efforts des sujets pour dépasser la contradiction liée aux effets paradoxaux du poids, une affirmation de Piaget mérite d'être soulignée : l'obligation de non-contradiction logique jouerait « un rôle formateur », à côté du rôle tenu par l'analyse expérimentale. Une autre observation concerne la différence entre la présente recherche, où la négation est initialement portée au sein du système cognitif à partir de l'extérieur, c'est-à-dire des démentis de l'expérience, et les situations logico-mathématiques dans lesquelles la négation doit d'emblée être construite par le sujet. Ceci explique que la prise de conscience des contradictions est moins précoce sur le terrain des problèmes logico-mathématiques. Piaget reviendra sur ces questions dans ses conclusions générales.

Avant d'entrer dans la deuxième section de ce chapitre, l'auteur expose encore brièvement les résultats d'une recherche très voisine de la précédente (une boîte contenant une bille invisible provoquant des mouvements inattendus). Réalisée par B. Engelson, ses résultats recourent complètement ceux obtenus au moyen d'une roue sur laquelle un poids est fixé. Le fait que les objets provoquant des modifications inattendues du mouvement de la boîte soient cachés à l'intérieur de la boîte, et non pas visibles comme le poids fixé sur la jante, rend la contradiction plus facile à dépasser (car suggérant plus immédiatement l'idée d'un facteur auxiliaire).

b. Section II : Les courbes mécaniques

Là encore les contradictions vont surgir d'une opposition entre l'anticipation d'un fait et son observation. La recherche reprend à cet effet l'ancien problème de la pro-



duction de lignes droites ou courbes (dont la cycloïde) par un crayon fixé soit au centre d'un disque circulaire, soit sur sa circonférence, le disque roulant ensuite soit le long d'une droite, soit le long d'un anneau circulaire (si le disque a un diamètre valant la moitié de celui de l'anneau, et si le crayon est fixé sur la circonférence du disque, la trace laissée par le crayon sur la feuille se confond avec un diamètre de l'anneau). Mais ce qui sera plus particulièrement considéré ici, c'est la façon dont le sujet réagit face à la non-conformité des constatations par rapport aux prévisions. Piaget considère d'emblée que cinq négations sont possibles de la part du sujet après constat de l'écart entre prévisions et constatations. Les deux premières consisteraient à attribuer l'écart entre prévision et constat à l'objet (le dessin ne serait pas conforme à ce qui s'est produit, ou bien le déplacement du crayon n'aurait pas bien suivi l'action du sujet sur le disque). Dans la troisième, l'écart serait expliqué par une action mal exécutée par le sujet. Quant aux deux dernières, elles reviendraient à évoquer un manque de précision : des perturbations locales empêcheraient la réalisation d'une loi générale, ou bien alors la prévision n'aurait pas comporté la différenciation de deux mouvements intervenant dans le tracé, celui du disque et celui du crayon. Si les « explications » des sujets suivaient l'ordre précédent des négations, il y aurait alors une évolution de celles-ci « procédant de la périphérie (résistances des objets) au centre (limitation des affirmations du sujet lui-même) » (p. 97).

Niveau IA

Comme prévu, les sujets attribuent l'échec de leur prévision au dessin lui-même, qui, par exemple, « n'a pas tourné tout autour » (p. 98).

Niveau IB et IC

Dès le niveau IB les sujets admettent que le dessin ne fait que refléter les déplacements du crayon. Ils imputent alors au matériel le fait que les constatations ne soient pas conformes aux prévisions (c'est la « faute » aux crayons, ou à l'anneau, qui est un « coquin », p. 99, etc.). Au niveau IC, le sujet commence à mettre en cause aussi sa propre action (« c'est à cause que j'ai mal tourné », p. 101, etc.). Mais ils ne remettent toujours pas en cause leurs prévisions.

Niveaux IIA, IIB et III

Vers 7-8 ans les sujets admettent enfin qu'ils se sont trompés dans leur prévision. Mais le plus important serait, selon Piaget, que, dès le niveau IIA, ils parviendraient à donner à la négation « un statut d'utilisation opératoire » (p. 103) : « étant donné une prévision rejetée [...] elle reste vraie en certains cas A et n'est infirmée qu'en d'autres cas A9 » (p. id.). L'analyse logique proposée ici par l'auteur des réponses des enfants est bien sûr un élément clé de son interprétation générale des conduites de dépassement de la contradiction. Ce dépassement sera réussi lorsqu'il y aura une



distribution adéquate des facteurs de mouvement en jeu dans les différentes classes et dans leurs complémentaires (le disque tourne le long de l'anneau, le crayon tourne avec le disque, etc.).

Au niveau IIB, il y aura progrès dans l'explication de l'écart observé, dans la mesure où les sujets font intervenir des « coordinations entre les translations et les rotations » dont ils n'auraient pas tenu compte lors de leurs prévisions. Il en va de même au stade III, mais pour des situations qui restaient jusqu'alors incompréhensibles (notamment le tracé d'une droite pour un crayon placé sur la circonférence du disque tournant à l'intérieur de l'anneau, le diamètre du disque étant la moitié de celui de l'anneau).

Conclusions

Décrit au début de ce chapitre, l'ordre des différentes formes de négations ou de démentis apportés aux prévisions est donc confirmé par les faits. Leur évolution signifie une intériorisation progressive de la négation, avec, en conséquence, un équilibre croissant entre les affirmations et les négations. Au début, il y a clairement primat des affirmations, la négation étant le fait de perturbations matérielles qui s'opposent de l'extérieur aux certitudes du sujet. Avec l'attribution, au niveau IC, de l'échec de la prévision à l'action propre du sujet, un progrès est accompli « mais sans que cela ébranle encore le réalisme de l'affirmation, la compensation ne consistant qu'à corriger les perturbations de l'action destinée à satisfaire la prévision » (p. 105). Puis les prévisions elles-mêmes sont conçues comme susceptibles d'erreurs. Dès lors, c'est au sein des inférences subjectives que le sujet cherche les négations permettant d'annuler l'échec de la prévision. Ce qui apparaissait comme une perturbation extérieure est intégré aux différentes sous-classes d'observables, le sujet devant pourtant trouver l'extension adéquate de chaque sous-classe, et par là même des négations (de type non-A) équilibrant les affirmations correspondantes (A).

Chapitre VI : Les contradictions dans les coordinations d'observables (avec C. Kamii et S. Parrat-Dayan)

a. Le problème

Dans le développement d'une notion telle que le poids (mesuré sur une balance), les affirmations des sujets des premiers stades paraissent souvent contradictoires aux enfants plus âgés. A quel moment les jeunes sujets sont-ils sensibles non pas forcément à ces contradictions, mais du moins à l'instabilité de leurs affirmations ? C'est pour répondre à de telles questions que Piaget et ses collaborateurs ont repris les anciennes recherches sur la conservation du poids, et aussi afin de voir comment les enfants réagissaient face aux écarts entre leurs prévisions et leurs constats relatifs au déplacement des plateaux d'une balance (il s'agit d'une balance à fléau, avec, des deux côtés, des plateaux suspendus, sur lesquels on peut poser des rondelles et, juste en dessus des points d'ancrage du fléau, de petites tiges verticales sur lesquelles on pourra également enfiler les mêmes rondelles).



b. Niveau IA

Les enfants de ce niveau (4-5 ans environ) peuvent, par exemple, prévoir que les deux plateaux descendront ensemble si on place des poids dessus. A la base de cette sorte de prévision, on retrouve la croyance que les poids tendent à descendre, mais avec des exceptions (la force d'un poids pouvant faire que le plateau sur lequel on le place va monter). Une seconde connaissance familière est liée à l'expérience de la balançoire : un des deux partenaires monte quand l'autre descend. Selon ce qui se présente à eux, les enfants vont utiliser l'une ou l'autre de ces deux connaissances pour interpréter ce qu'ils voient. Ils ne chercheront par ailleurs nullement à coordonner les constats successifs faits au sujet des deux côtés de la balance. Ce qui s'offre à ce niveau est donc une très grande instabilité de la pensée, avec à chaque nouveau pas un primat de l'affirmation sur une négation tout simplement ignorée. Seul un des enfants, dont les prévisions sont un peu meilleures, finira par affirmer que « quelque chose [...] ne va pas » (p. 113).

c. Niveau IB

A partir de ce niveau (5-6 ans) commencent les premières coordinations entre ce qui se passe sur un plateau et ce qui se passe sur l'autre. Les enfants prévoient et constatent que cela monte d'un côté et descend de l'autre. Mais ce qui est gagné d'un côté n'est pas considéré comme égal à ce qui est perdu de l'autre. De plus, enlever un poids ne se traduit pas forcément par un effet inversant son addition. Enfin, les sujets peinent à prévoir si un équilibre va être atteint ; de même les raisons d'un tel équilibre sont-elles mal comprises. On constate donc à ce niveau des premières inférences relativement stables portant sur plusieurs observables. Mais chaque fois qu'il s'agit de concevoir l'inverse d'une action, le sujet ne parvient pas à la considérer pleinement comme telle.

d. Stade II

Au niveau IIA (qui concerne des enfants entre 6 ans H et 10 ans !), les sujets maîtrisent complètement le système des relations entre les deux plateaux du fléau (si on place deux poids égaux, les plateaux s'équilibrent ; si tel poids est posé sur un plateau, il faudra en conséquence mettre le même poids sur l'autre pour que les deux plateaux s'équilibrent à nouveau, etc.). Il y a donc compensation complète des actions d'ajouter et d'enlever. Par contre, si on enfle les rondelles sur les tiges fixées des deux côtés du fléau, les sujets ne sont plus si certains des effets de ces actions. C'est là une difficulté connue, liée à celle de la notion de poids physique : un même poids peut être conçu comme agissant avec plus de force selon qu'il est placé plus haut ou plus bas par rapport au dispositif auquel il est attaché et sur lequel il agit.

Les sujets du niveau IIB appliquent les mêmes arguments au cas où l'on enfle des poids à l'une des tiges fixées aux deux côtés du fléau au lieu de les ajouter sur le plateau correspondant (huit rondelles déposées sur l'un des deux plateaux seront équilibrées par six rondelles déposées sur l'autre plateau et deux rondelles enfilées à la tige se trouvant du même côté que celui-ci).



e. Conclusions

Les incohérences des actions et des prévisions des sujets sont liées aux trois facteurs mentionnés dans l'introduction générale : une même action peut conduire à des résultats différents, une action et son contraire peuvent ne pas se compenser complètement, d'où des inférences non logiquement articulées les unes aux autres et présentant des indécisions. Sous ces trois facteurs se cacherait une même source fondamentale de déséquilibre : « le primat constant des affirmations [...] par rapport aux négations ou exclusions dont se soucient peu les jeunes sujets » (p. 121).

Comment le sujet parvient-il à l'équilibre des affirmations et des négations ? L'instabilité des actions et des jugements initiaux est gênante pour lui, dans la mesure où la prévision et la compréhension de ce qui se passe sont sans cesse prises en défaut et font donc obstacle « aux tendances assimilatrices générales » (p. 123). Cette instabilité pousse dès lors le sujet à mieux observer les régularités présentes dans la situation, et l'amène à pressentir de possibles actions de facteurs jusque-là non considérés (par exemple, devant l'échec des prévisions par rapport à ce qui se passe lors d'une addition de poids sur un plateau, en arriver à considérer simultanément ce qui se produit sur l'autre). Mais surtout, elle enclenche un processus de régulation qui tend à compenser les perturbations rencontrées dans l'action, puis « celles qu' imagine la pensée en ses suppositions » (p. 123) : enlever un poids est un moyen d'annuler l'effet d'une addition, etc. Cette équilibration progressive des actions ou de leur représentation enrichit progressivement le modèle explicatif du sujet, en faisant peu à peu disparaître ses aspects contradictoires.

Enfin, il convient de citer la conclusion suivante de Piaget, qui illustre bien la façon dont il conçoit les rapports entre les contradictions liées aux déséquilibres initiaux de l'action et de la pensée par rapport à la contraction logique : « la compensation progressive des actions positives et négatives, ou des affirmations et négations, constitue un mécanisme fonctionnel autonome bien avant d'être conceptualisée opératoirement grâce à un ensemble d'abstractions réfléchissantes, et c'est pourquoi le moteur essentiel de ce développement n'est pas la contradiction logique (dont la prise de conscience et le maniement supposent cet achèvement opératoire), mais bien la réaction aux déséquilibres successifs de l'action » (p. 124).

Chapitre VII : La cohérence progressive dans l'interprétation des inversions en miroir et de la réfraction (avec J.-P. Bronckart et A. Cat-tin)

a. Introduction

Les contradictions qui interviennent dans le contexte de problèmes physiques sont déclenchées par les écarts entre prévision et constatation (sans pour autant s'y réduire). Contrairement à ce qui se passe sur le terrain purement logico-mathématique, leur dépassement contraint le sujet à tenir compte d'observables physiques non considérés jusqu'alors. Qu'advient-il lorsque les phénomènes physiques en jeu sont essentiellement géométriques, comme en optique ? La présente recherche vise à



répondre à cette question en confrontant les sujets à un problème typique d'inversion de formes liée à l'utilisation d'un miroir. Le matériel de base utilisé est composé de lettres symétriques (A, T, etc.) et asymétriques (B, etc.) tracées sur un carton. Le sujet doit deviner et dessiner ce qu'il verra s'il les regarde non pas directement, mais par le biais d'un miroir placé en face d'elles (de telle sorte que, par exemple le , soit vu comme). L'interrogation commence par des lettres asymétriques (qui, seules, prennent une apparence différente à travers le miroir), puis se poursuit avec des symétriques.

b. Niveau IA

Bien que les sujets de ce niveau (5-6 ans environ) ne connaissent généralement pas la loi de l'inversion, ils parviennent presque tous à l'acquérir après un seul constat pour les asymétriques présentées d'abord. Par exemple, E étant présentée, ils commencent par dessiner E, puis se corrigent et tracent le E inversé tel qu'ils le voient dans le miroir. A la présentation d'une seconde lettre asymétrique, tous ou presque prévoient alors son inversion. Mais si maintenant on leur présente le M (ou le A, etc.), ils l'inversent selon sa hauteur (ce qui pour le A donne ;). Le constat ultérieur de l'invariance du A les conduit alors à considérer l'existence de deux sortes d'objets : ceux qui sont modifiés par le miroir et ceux que le miroir laisse inchangés. Piaget observe encore que les sujets semblent considérer le miroir comme provoquant des mouvements réels agissant sur le double de l'objet. Ceci transparait dans le fait que, lorsqu'ils sont appelés à justifier l'invariance des lettres symétriques, les enfants font appel à des résistances de ces objets « qui ne se laisseraient pas faire ».

Quant aux incohérences propres à ce niveau, elles apparaissent dans la répartition des lettres entre celles qui changent et celles qui ne sont pas modifiées. Des lettres symétriques peuvent être classées parmi les asymétriques et vice versa, même si le sujet a constaté précédemment que telle lettre n'avait pas été modifiée (ou l'avait été pour des asymétriques rangées avec les symétriques). Comme les sujets n'ont pas d'explication ou de modèle adéquat de ce qui se passe, des lettres qui changeaient peuvent être considérées comme ne changeant plus, et être ainsi classées avec celles résistant à l'action du miroir.

c. Niveau IB

Après avoir acquis la loi pour les symétriques, les sujets de ce niveau ne savent pas très bien s'ils doivent considérer les lettres symétriques vues dans le miroir comme étant à l'envers ou non, leur apparence n'ayant pas changé (en d'autres termes le côté gauche de la lettre dans le miroir correspond-il au côté droit ou au côté gauche de la lettre originale ?). Un enfant dira par exemple du A dans le miroir (qu'il a dessiné de droite à gauche) qu'il est « à l'envers... non, toujours à l'endroit, parce qu'il doit être toujours à l'endroit » (p. 129). « A l'envers » tend ainsi à prendre la signification d'un changement d'orientation, et non pas forcément d'une modification interne réelle de



l'objet. Le sujet accomplit donc ici un premier pas important vers la solution du problème.

Par ailleurs, certains sujets se demandent si le fait que certaines lettres sont vues à l'envers, et d'autres à l'endroit, ne tient pas à l'action de l'expérimentateur ou à la sienne. L'un d'entre eux dira ainsi du A, qu'il ne comprend pourquoi on ne l'a pas mise comme ça (;) dans le miroir. Selon l'action de l'expérimentateur ou de l'enfant, une lettre devrait se présenter à l'envers ou à l'endroit dans le miroir. Ainsi, alors qu'au niveau IA c'est l'action de l'objet qui expliquait la non-généralité (apparente) de la loi d'inversion, au niveau IB, c'est celle du sujet.

d. Stade II

Les enfants de ce stade (6-7 ans) prennent conscience du rôle de la symétrie et admettent que la loi d'inversion s'applique même en cas d'absence de changement apparent. Un sujet affirmera par exemple que les lettres qui présentent un changement « ne sont pas la même chose des deux côtés » ; quant aux autres, « elles se tournent [aussi], mais on voit la même chose » (p. 133).

Enquête complémentaire

La compréhension du processus d'inversion est vérifiée par une question supplémentaire dans laquelle on demande au sujet de trouver de quelle manière placer un L en face du miroir pour que le L vu dans celui-ci soit dans le bon sens. La compréhension qu'un L inversé hors du miroir apparaîtra non-inversé dans celui-ci est contemporaine de la compréhension du non-changement des lettres symétriques.

Par ailleurs une seconde recherche complémentaire porte sur la situation classique de l'inversion de l'orientation des bras lorsqu'on se place face à un miroir.

La vision de soi-même en miroir est source de contradictions encore plus nombreuses que l'inversion précédente des lettres. En effet, notre main droite se projette également à droite dans le miroir. Et pourtant, si nous plaçons du point de vue de l'image de nous-mêmes, cette main qui est à droite pour nous qui sommes hors du miroir devient la main gauche de notre double dans le miroir ! Pour étudier ce problème plus difficile pour le sujet, on lui demande de désigner un objet se trouvant sur sa gauche, puis de dire avec quel bras il a désigné cet objet. On lui demande ensuite de dire si le bras qui, dans le miroir, va désigner l'objet est un bras gauche ou un bras droit, puis, après constat, de dire si l'objet que désignera ce bras se trouve sur le côté gauche ou droit de l'enfant. Les résultats obtenus complètent ceux de la précédente recherche.

Au niveau I, l'enfant affirme que le bras qui, dans le miroir, désigne l'objet est le même bras (par exemple le gauche) que le bras qu'il a lui-même utilisé, et qu'il dési-



gne l'objet situé au même endroit de la chambre. Lorsqu'on demande aux enfants de mieux regarder le bras dans le miroir, seuls ceux de niveau IB corrigeront leur première affirmation (pour le double dans le miroir, le bras n'est plus le gauche, mais le droit). Par contre, lorsqu'on demandera à ces derniers où se situe l'objet désigné par le bras dans le miroir, ils montreront le mauvais côté de la chambre, ce qui les plonge dans l'embarras. C'est seulement en un deuxième stade, vers 7-8 ans, que les sujets arrivent caractériser correctement le bras dans le miroir et à dire que ce bras désigne le même objet, situé au même endroit, que le fait le bras réel.

e. Conclusions

Les contradictions surgissent dans cette recherche en raison, notamment, de l'ambiguïté de la notion de « à l'envers », qui intervient dans la loi de l'inversion telle que l'énoncent déjà les sujets confrontés à la première situation. Selon l'interprétation qui en est donnée, la généralité de cette loi est contredite par le constat que la lettre A ne change apparemment pas de forme lorsqu'elle est vue par le biais du miroir. Comment les sujets s'y prennent-ils pour dépasser cette opposition entre la loi et les faits ?

Etant convaincus que le miroir renverse réellement la forme des lettres, les sujets de niveau IA essaient différentes solutions pour qu'une lettre telle que A soit effectivement inversée par le miroir (par exemple, ils la placeront dans le sens haut-bas inversé, ce qui ne provoque pas l'inversion souhaitée). Au niveau IB, la généralité de la loi est remise en cause, mais pas sa signification. Enfin au stade II, la contradiction est dépassée grâce à une « bonne coordination des actions et des positions » (p. 140). Seule la formulation manque encore de précision, faute d'un intérêt pour les définitions et la cohérence des formulations, qui n'apparaîtra qu'avec la pensée hypothético-déductive (le sens de la notion de « à l'envers » reste par exemple peu stable par absence de définition formelle).

Cependant, en ce qui concerne la question posée au départ de cette recherche (qu'en est-il du rôle des observables dans un domaine tel que l'optique ?), les faits montrent que le dépassement des contradictions se fait « sans aucun appel à de nouvelles informations expérimentales » (p. 140), mais par la coordination de l'inversion réalisée par le miroir avec l'invariance de la forme d'une lettre telle que A lors de sa rotation autour de son axe de symétrie vertical. Il en va de même pour le problème de l'image de soi dans le miroir : le sujet va généraliser de manière déductive le fait que sa main gauche devienne main droite dans le miroir au fait que le signal qui est à la droite de l'enfant devient un signal à gauche du point de vue de l'image dans le miroir, l'objet désigné restant ainsi à sa place. Cependant, tant que l'enfant n'aura pas réalisé ces coordinations, il y aura compensation incomplète des affirmations et des négations. Au stade I, la loi d'inversion s'impose dans toute son extension, les seuls démentis étant apportés soit par des objets extérieurs qui résistent sans la remettre en cause, soit par une action du sujet qui aurait échoué (il commence donc à y avoir « internalisation » de la négation). C'est seulement au stade II que le sujet va réussir à trouver une solution stable, par différenciation des actions d'inversion et de leurs résultats (variables selon les deux sous-classes de lettres). C'est alors qu'est atteint l'équilibre des affirmations et des négations, les secondes prenant la même importance que les premières.



Enfin, Piaget rapporte les résultats d'une autre recherche complémentaire, dans laquelle il n'est plus question de l'effet d'un miroir sur des objets qui s'y reflètent, mais de l'effet de réfraction de l'eau, qui résulte dans la transformation apparente d'une tige droite en une tige courbée, à la double condition que la tige soit plongée obliquement dans l'eau, et qu'elle n'y soit pas plongée tout entière. Les niveaux des réponses recourent totalement celles de la recherche sur l'effet d'inversion : au niveau IA, l'eau a le pouvoir de plier matériellement l'objet ; au niveau IB, la réfraction n'agit que sur la seule forme visible de la tige (qui réellement ne se plie pas) ; enfin, alors qu'au niveau IB la répartition des situations se fait par la seule lecture des observables, au stade II la coordination des affirmations et des négations concernant la distinction de la tige et de son image, ainsi que du pliage ou non-pliage apparent de l'image, dépend des facteurs de position et de direction de l'objet. « Cette coordination, issue d'une construction active de classes et sous-classes autant que d'une relativisation des notions en jeu, permet alors de lever les contradictions insurmontables du niveau IA et mal dépassées du niveau IB faute de compréhension de la raison des changements de forme » (p. 147).

Chapitre VIII : Contradictions issues des fausses symétries de l'inclusion³²

(avec J. Montangero)

a. Introduction

D'anciennes recherches sur l'inclusion des classes avaient déjà montré comment les jeunes enfants tendaient à déduire de leur affirmation selon laquelle « tous les carrés sont bleus » (en une collection où il y a aussi des ronds bleus) l'affirmation « tous les bleus sont carrés ». Pour Piaget, il y a là une confirmation du primat initial des affirmations sur les négations. L'affirmation « les carrés sont bleus » impose une liaison très prégnante entre carré et bleu qui conduit le sujet à l'affirmation réciproque sans se soucier de régler l'extension des sous-classes et de leurs complémentaires.

C'est le genre de contradictions pouvant naître d'un mauvais réglage des extensions logiques qui fait l'objet de ce chapitre. Certaines sont internes aux actions du sujet, d'autres aux jugements qu'il énonce par rapport à la situation.

Le problème posé aux enfants est le suivant. On leur montre cinq cubes rouges contenant chacun un grelot et on leur fait constater qu'ils font du bruit. Trois cubes jaunes et trois bleus sont par ailleurs montrés au sujet sans qu'il puisse les toucher pour vérifier s'ils ont ou non un grelot (seul un jaune et un bleu en ont un). Les enfants affirment ne pas savoir s'il y a aussi des grelots dans ces cubes jaunes et bleus, ou alors, pour les plus jeunes, qu'il n'y en a pas. Ensuite tous les cubes sont placés derrière un écran. Le sujet peut alors les toucher un à un et l'expérimentateur lui dit que, s'il pense que l'un des objets qu'il touche est rouge, il peut le mettre dans une boîte à sept cases, également cachée derrière l'écran (les enfants du stade I placent tous les cubes rouges ainsi que le cube jaune et le cube bleu qui font du bruit dans la boîte, de telle sorte que celle-ci est pleine). On lui demande alors s'il peut dire comment sont les cubes jaunes et bleus (les enfants de niveau I répondent qu'ils n'ont pas de grelot)



et s'il reste de la place dans la boîte à sept cases, puis on sort de derrière l'écran tous les onze cubes, ainsi que la boîte alors vidée de ses cubes. On prie enfin l'enfant de mettre tous les cubes rouges dans la boîte et on lui demande pourquoi il reste maintenant de la place dans celle-ci.

Quant à la question portant directement sur des jugements en apparence contradictoires, on demande à l'enfant qui, au début de l'entretien, affirmait ne pas pouvoir dire si les cubes jaunes et bleus contiennent des grelots, puis qui, après avoir manipulé les cubes cachés derrière l'écran, dit que les jaunes et les bleus n'ont pas de grelot, lequel de ses deux jugements est le plus juste.

A la fin de l'entretien l'expérimentateur peut poser aux enfants le problème classique de l'inclusion (y a-t-il plus, moins ou la même chose de fleurs que de marguerites dans un bouquet contenant des marguerites et des roses ?).

b. Niveau IA

Les sujets tendent à juger dès le départ que les cubes jaunes et bleus ne contiennent pas de grelot et, après manipulation, ils sont convaincus que la boîte remplie derrière l'écran avec sept cubes ne contient pas de jaunes et de bleus, et cela même lorsqu'ils la remplissent avec les cinq rouges une fois l'écran enlevé. Face à ce constat (il reste de la place dans la boîte), les enfants tendent soit à nier la différence, soit à considérer que les cubes sont plus proches les uns des autres dans la situation où la boîte est visible.

c. Niveau IB

Les sujets commencent par le même genre d'erreurs que ceux de niveau IA. Pourtant, après constat de la différence entre les « rouges » mis dans la boîte derrière l'écran et les rouges mis dans la boîte lorsque tout se fait sans écran, ils peuvent en arriver à admettre que des jaunes et bleus pourraient bien avoir des grelots (un sujet affirmera pourtant que si la boîte était pleine sous l'écran, c'est parce qu'il y a des rouges cachés quelque part). Les sujets affirment aussi qu'il est impossible d'être sûr à l'avance si on va réussir ou non le jeu (qui consiste à mettre tous les rouges dans la boîte dans la situation où l'action se fait derrière l'écran).

d. Stade II

A partir de 7-8 ans, presque tous les sujets jugent que des cubes avec un grelot à l'intérieur pourraient être bleus ou jaunes. On ne peut pas dès lors être sûr d'atteindre la solution si on cherche à placer les cubes rouges et seulement eux dans la boîte en ne pouvant que les manipuler sans les voir. En guise de solution, certains sujets choisissent de placer à l'aveugle seulement cinq cubes, ce qui leur donne une chance de



réussir ; d'autres, moins avancés, continuent à placer tous les cubes qui ont un grelot, mais en sachant que certains qui ont été placés ne sont pas rouges.

e. Conclusions

Une fois l'opération d'inclusion maîtrisée, et donc une fois atteint l'équilibre des affirmations et des négations, les sujets ne font plus l'erreur d'identifier la sous-classe des rouges et celle des cubes à grelots. L'absence d'équilibre des affirmations et des négations chez les sujets de stade I s'expliquerait par un primat des premières sur les secondes. Dans la classification des objets à laquelle procèdent les jeunes sujets, ce qui les frappe d'abord ce sont les qualités qui déterminent positivement ces objets. Les conditions de l'expérience faisant que rouges et avec grelot sont fortement liés ensemble au départ (chacun des cinq rouges a un grelot), le sujet fusionne les deux qualités dans un même complexe.

Par ailleurs, s'attendant à réussir les actions dans lesquelles il s'engage, le sujet aura tendance à ignorer ce qui apporte de l'incertitude à une telle réussite. Dès lors, le fait que, comme on le lui dit pourtant au départ, les cubes jaunes et bleus ont peut-être un grelot à l'intérieur échappe à l'attention des jeunes sujets, qui négligent ce qui tend à accroître la difficulté de l'action. Il y a donc à la fois une raison objective (la négation d'une qualité est indirecte contrairement à toute lecture directe d'une qualité, qui est toujours positive) et une raison subjective (le sujet est tendu vers la réussite de l'action) à la domination initiale des affirmations sur les négations.

Quant aux contradictions auxquelles le sujet est confronté et qui ont leur source profonde dans le déséquilibre entre affirmations et négations, il y a d'abord celles qui sont issues du fait que la distribution fallacieuse des cubes en rouge avec grelot et jaunes et bleus sans grelot ne suffit pas à résoudre le problème des cubes à trier derrière l'écran. Certains non-rouges contenant en fait un grelot, la contradiction va forcément apparaître entre ce qui se fait derrière l'écran et la même tâche réalisée en l'absence d'écran (contradiction qui se manifeste par le fait qu'en un cas la boîte est pleine, et dans l'autre cas non). Dans un premier temps, le sujet va alors s'en tirer soit en niant la différence entre les deux situations, soit en la minimisant. Piaget en tire alors la conclusion suivante :

De manière générale dans toutes les situations où le sujet oublie une classe complémentaire A9 (et conclut entre autres que si tous les A sont des B, alors symétriquement tous les B sont des A), ou généralise à « tous » un indice valable pour « quelques », etc., les contradictions latentes que contiennent ces affirmations sont l'expression de déséquilibres en ce sens que les négations qui seraient nécessaires pour la cohérence du système demeurent à l'état de « travaux virtuels non compensés » (p. 18)³³.

Les « travaux virtuels non compensés » interviennent dès le niveau IA en induisant la « résistance des observables que le sujet peut chercher à 'refouler' » (p. 18), lorsque

³² Ce chapitre et les suivants sont exposés dans le volume II des Recherches sur la contradiction (volume dont le sous-titre est « Les relations entre affirmations et négations »). Si la numérotation des titres de chapitres prolongent celle du volume I, il n'en va pas de même pour la pagination qui recommence à 1.



le sujet affirme ne pas voir de différence entre la boîte pleine derrière l'écran et la même boîte non complètement remplie lorsque la manipulation se fait sans écran. En effet la « répression de l'observable gênant ne tient pas longtemps, car même en se refusant à accepter le fait, le sujet en a découvert la possibilité et c'est cette possibilité, même non souhaitée, qui le trouble jusqu'à la reconnaître en tant que réalité » (p. 19 ; on voit ici cette fois comment Piaget s'appuie sur des notions partiellement empruntées à la psychanalyse). Il en va de même pour la possibilité de cubes à grelot et pourtant non rouges, possibilité qui agit sur la pensée du sujet. Ainsi, alors que dans un système physique, seul le physicien a connaissance du virtuel, sur le plan cognitif celui-ci a une action bien réelle même en cas de refoulement. En un tel cas, « il n'y a pas de compensation entre les affirmations +A ou +B et les négations $B - A \neq A$, d'où l'erreur $A = B$ » (id.). Par contre l'acceptation de la possibilité de cubes à grelot et non rouges conduit à la compensation complète des affirmations et des négations.

Il apparaît finalement à Piaget que la virtualité qui agit au sein d'un système cognitif non encore équilibré est le point de départ de la connaissance des possibles qui caractérisera ce système parvenu à l'état d'équilibre³⁴.

Chapitre IX : Les transferts simples ou réciproques d'une collection à une autre (avec A. Henriques, section I et G. Cellérier et D. Maurice, section II)

a. Section I : Le transfert simple de jetons de l'une à l'autre de deux séries correspondantes

Soit une collection de jetons répartis en deux rangées, initialement en correspondance terme à terme. Lorsque n jetons sont transférés d'une rangée à une autre, et cela sous les yeux de l'enfant, les plus jeunes enfants prévoient que le déplacement entraîne une différence de n , et non pas de $2n$, entre les deux rangées (seul le point d'arrivée du transfert est provisoirement caché derrière un écran, afin que l'on puisse demander à l'enfant ce qu'il pense, avant même qu'il puisse simplement compter la différence).

Stade I

Lorsqu'ils constatent que la différence entre les deux rangées ne correspond pas à leur prévision, les enfants d'un niveau IA conservent leur certitude initiale, tout en admettant qu'il y a quelque chose de bizarre. Ils peuvent alors avancer des hypothèses telles que celle d'une tricherie de l'expérimentateur. Ces enfants ne considèrent donc l'action que sous son angle positif, sans voir la soustraction faite à la rangée de départ.

Par contre, au niveau IB, après constat que la différence n'est pas celle à laquelle ils s'attendaient, et après de premières réactions qui s'apparentent à celles du niveau IA, les enfants prennent conscience que l'action de transfert ne consiste pas seulement



en un ajout de jetons à la rangée d'arrivée, mais aussi en une soustraction dans la rangée de départ.

Stade II

Si les enfants de ce niveau tendent dans un premier mouvement à répondre que la différence sera égale à celle du nombre de jetons transférés, ils se corrigent aussitôt et prévoient qu'elle sera le double, parce que les jetons ajoutés à une rangée ont été enlevés à l'autre. Les sujets mettent donc explicitement en relation les deux aspects positifs et négatifs de l'action de transfert. Piaget souligne que l'utilisation de toute action ou opération implique ces deux aspects. Simplement, le plus souvent, il n'est pas nécessaire de considérer explicitement la dimension négative, dans la mesure où en général c'est bien le résultat positif de l'action ou de l'opération qui nous intéresse. Mais si le sujet de ce stade supérieur n'a pas besoin de prêter attention à l'effet négatif de l'action ou de l'opération utilisée, c'est que le résultat positif qu'il constate ou anticipe est le fruit d'une équilibration antérieure des composantes positives et négatives. Cette équilibration explique qu'il puisse sans aucun problème intégrer explicitement l'aspect négatif lorsque la situation l'exige.

b. Section II : Un mécanisme d'échange

Le nouveau problème qui est posé aux enfants dans cette seconde recherche est une variante de celui bien connu du mélange du vin et de l'eau. Soit un récipient rempli d'eau (ou dans le cas particulier de 20 billes blanches) et soit un deuxième récipient rempli de vin (20 billes rouges). Si l'on prend une certaine quantité de liquide (ou de billes) d'un côté, que l'on verse cette quantité de l'autre, que l'on reprend une même quantité globale dans le second récipient pour la mettre dans le premier, cela afin de retrouver l'égalité globale, y a-t-il plus d'eau (de billes blanches) dans l'un des deux récipients qu'il y a de vin (de billes rouges) dans l'autre récipient ?

Ce problème n'a rien de trivial et un adulte doit réfléchir pour aboutir à la bonne solution. La situation avec les billes favorise un peu la solution, dans la mesure où il est plus facile d'analyser ce qui se passe. D'autre part, l'expérimentateur commence par interroger l'enfant sur des situations plus simples : on prend simultanément dans les deux récipients une même quantité de billes de couleur homogène (par exemple, 3 rouges d'un côté et 3 blanches de l'autre) que l'on dépose simultanément dans le récipient autre que celui où chaque groupe a été pris (on pourrait procéder de la même façon dans la situation d'origine, avec l'eau et le vin), avant de l'interroger sur des transferts hétérogènes. D'autres questions sont aussi posées, comme celle de savoir s'il est possible de faire en sorte qu'il y ait plus de blanches d'un côté que de rouges de l'autre, ou encore en demandant ce qui se passe si on utilise une collection de

³³ La théorie piagétienne du développement cognitif reposant dès le départ sur les notions d'équilibre et d'équilibration empruntées à la thermodynamique, Piaget peut ainsi exploiter la notion de travaux virtuels, qui est centrale dans l'explication des équilibres mécaniques. Notons pourtant que ces notions ne sont pas transposées sans modification, mais sont adaptées aux réalités psychologiques modélisées.



billes extérieures pour en ajouter dans l'un ou l'autre des récipients (en ajoutant par exemple 1b et 1r dans chaque récipient, puis 1b et 1b également de part et d'autre).

Stade I

De 5 à 7 ans les enfants ne tiennent généralement compte que des éléments positifs et majoritaires des échanges (exemple : prendre 2r dans le récipient des rouges, les mettre dans celui des bleues, puis prendre 1b et 1r dans celui des bleues pour les mettre en échange dans celui des rouges entraîne un sujet à affirmer qu'il y aura plus de rouges là où les 2r ont été ajoutées). Lorsqu'on leur demande de compter, ils découvrent que c'est égal, ce qu'ils affirment ne pas comprendre. Certains peuvent alors affirmer qu'il y a tricherie. Quant à savoir s'il est possible de réaliser une inégalité des bleues ou des rouges entre les deux récipients, ces sujets l'affirment bien sûr, sans que cela fasse aucun problème pour eux.

Stade II et III

Lorsqu'on prend des sous-collections différentes dans chaque récipient, puis qu'on les change de récipients, les sujets de stade II et III commencent par commettre les mêmes erreurs que ceux de stade I. Mais dès le constat du résultat, ils procèdent à une analyse détaillée de l'échange et prennent conscience qu'une fois soustraites au nombre de billes échangées celles qui sont de même couleur de part et d'autre (n rouges contre n rouges, par exemple, ce qui ne change rien puisque les billes échangées sont de même couleur), il y a un nombre équivalent de billes de couleur différente qui passent de part et d'autre lors de l'échange.

La différence entre le stade II (vers 7-8 ans) et le stade III (vers 9-10 ans) tient au fait que les sujets du deuxième stade explicitent moins clairement les opérations de soustraction et qu'ils ne généralisent pas d'une situation à l'autre leurs réponses aux perturbations rencontrées (par exemple, lorsqu'on passe à la question de savoir s'il serait possible de créer une inégalité de part et d'autre). Ils procèdent aussi davantage par démentis et corrections successives. En un mot, seuls les sujets de stade III parviennent à une solution générale dans la mesure où ils parviennent à une compensation complète et explicite des additions et des soustractions en jeu dans les situations d'échange.

³⁴ On trouve à la page 20 une note de Piaget qui distingue cette nouvelle sorte d'action du possible de deux autres formes distinguées par Inhelder et lui dans *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent* (le matériellement possible : le sujet considère explicitement une action qu'il ne réalise pas mais qu'il pourrait réaliser ; et le structurellement possible : l'ensemble des opérations d'une structure, même celles auxquelles le sujet ne pense pas, peut agir sur les raisonnements du sujet). Cette note a ceci d'intéressant que la nouvelle action du possible distinguée dans le passage d'un stade à un autre annonce les futures recherches du CIEG sur le possible et le nécessaire.



Chapitre X : Contacts et séparations (avec R. Maier, section I et O. Mosimann, section II)

a. Section I : Les contacts entre chaque objet et chacun des autres en des configurations spatiales à construire

On demande au sujet de disposer n crayons les uns à côté des autres de manière à ce que chacun se touche. Là encore l'enfant devra considérer les aspects non seulement positifs mais aussi négatifs de l'action pour découvrir des solutions adéquates.

Stade I

Vers 5 ans, le sujet se contente de disposer les crayons dans une forme d'ensemble dont la contiguïté générale lui laisse croire qu'il a résolu le problème. C'est le cas d'un enfant qui place deux crayons parallèlement l'un à l'autre, mais sans qu'ils se touchent, puis qui place à leur sommet un crayon qui les joint. Il serait encore plus satisfait de sa solution si on lui donnait un quatrième crayon qu'il pourrait placer à la base des deux premiers de telle sorte que les quatre fassent un carré.

Stade II

A un niveau IIA (vers 7 ans), on observe cette conduite étonnante d'enfants qui, après avoir disposé sur la table trois crayons parallèlement et serrés les uns contre les autres, ce qui répond partiellement à la consigne, et après avoir découvert, après question de l'expérimentateur, que le premier et le troisième ne se touchent pas, déplacent l'un d'entre eux afin de les joindre (ce qui a pour effet de séparer les deux autres) ! Il faudra alors que l'expérimentateur les interroge une nouvelle fois sur les deux crayons ne se touchant plus pour qu'ils voient que la perturbation qu'ils viennent de supprimer réapparaît ailleurs. Pour Piaget, la difficulté en jeu est la conséquence du primat du contact sur le non-contact.

Au niveau IIB le sujet découvre de lui-même les lacunes des solutions successives (pour le problème de 3 crayons, puis de 4, puis de 5, etc.) et y remédie autant qu'il le peut par des placements plus ou moins astucieux des crayons (un triangle pour 3, un triangle avec sa bissectrice pour 4, etc.).

Conclusions

Piaget commence par noter que « la tendance à surestimer le nombre de cas positifs de contact » (p. 41) jusqu'au niveau IIA va de pair avec « la difficulté à manier la correspondance un à plusieurs » (id.). L'enfant tend en effet à traduire cette dernière en une correspondance terme à terme en ne considérant, dans la sous-classe des crayons complémentaires à celui alors centré, que le seul d'entre eux touchant ce dernier, et en fusionnant avec lui l'ensemble des autres au moyen de la relation indé-



férenciée « se toucher » (en d'autres termes, une relation biunivoque est introduite entre le crayon centré et l'ensemble des autres, alors réduits à celui qui touche directement l'élément centré).³⁵

b. Section II : Le loup, la chèvre et le chou

Le problème posé est celui, bien connu, du loup, de la chèvre et du chou qu'il s'agit de faire passer un à un sur l'autre rive d'une rivière sans que le loup et la chèvre, ou que celle-ci et le chou, soient laissés seuls ensemble, puisqu'alors le loup mangerait la chèvre, ou bien celle-ci le chou. Pour résoudre ce problème, il faudra que le sujet accepte de réaliser une action en sens contraire de l'ordre direct qui consiste à aller de la rive de départ, où se trouvent les trois êtres, à la rive d'arrivée, où tous trois devront finalement se retrouver. Il faudra aussi qu'il tienne constamment compte des incompatibilités en jeu (impossible de laisser le loup et la chèvre, ou celle-ci et le chou ensemble).

Stade I

En un premier sous-niveau IA (vers 5 ans), aucun sujet ne découvre que le premier être qu'il convient de faire traverser est nécessairement la chèvre. S'ils font d'emblée traverser celle-ci, c'est sans raison valable. Sinon, ils en arrivent à cette solution parce qu'ils y sont contraints, leurs premiers essais les ayant conduits à des impasses. Mais une fois qu'ils ont fait passer la chèvre, ces sujets vont se trouver confrontés à une nouvelle impasse de laquelle ils ne sauront pas sortir, puisque le faire serait ramener la chèvre sur la rive de départ après avoir conduit auprès d'elle soit le chou soit le loup. Après avoir transporté, par exemple, le chou près de la chèvre, ils constatent l'incompatibilité et décident d'utiliser l'autre alternative, à savoir amener le loup près de la chèvre ; mais s'apercevant qu'ils tombent à nouveau sur une incompatibilité, ils en sont réduits à proposer des solutions extérieures aux conditions du problème (un sujet suggérera ainsi que l'on place un gardien avec la chèvre et le loup pendant que l'on va chercher le chou avec la barque).

Au niveau IB (6-7 ans), le sujet voyant bien, après tâtonnements, qu'il y a impossibilité à laisser le loup et la chèvre, ou celle-ci et le chou, sur la seconde rive se donne pour but de transporter le loup et le chou sur celle-ci. Ceci le conduit à perdre de vue en partie les deux incompatibilités et à se réjouir d'avoir, par exemple, pu placer le loup sur la seconde rive (les deux autres restant sur la première), puisqu'alors une moitié de son but est atteinte et que l'autre moitié ne semble pas faire de problème (il a perdu de vue qu'entre-temps la chèvre a pu manger le chou). De plus, il arrive qu'au cours des tâtonnements la chèvre, placée à un certain moment seule à l'arrivée, soit ramenée sur la rive de départ après le transport d'un deuxième élément, de telle sorte que le sujet atteint sans problème la bonne solution. Mais il ne prend alors pas du tout conscience du rôle joué par le mouvement de retour de la chèvre dans la solution globale (même si ce mouvement lui a permis de se sortir de l'impasse). Ce mouvement de retour au point de départ reste alors minimisé par rapport aux actions directes qui vont du départ à l'arrivée. Il a seulement valeur « d'expédient occasionnel » (p. 46). De même, les actions de neutralisation des deux incompatibilités, forcément utilisées



par le sujet, n'ont pas la même importance à ses yeux que l'action directe, d'où parfois leur oubli momentané.

Niveau IIA

Vers 7-8 ans, les sujets prennent conscience aussi bien du retour de la chèvre comme condition nécessaire du succès que des incompatibilités en jeu. Mais les coordinations entre réunions et séparations des éléments que ces trois contraintes imposent sur les mouvements d'aller et de retour restent laborieuses, et la marche vers la solution demeure toujours fortement marquée par le sous-but encore prédominant de placer le loup et le chou sur la rive d'arrivée.

Niveau IIB et stade III

Au niveau IIB, vers 9-10 ans, il y a chez un premier groupe d'enfants la persistance de la domination du sous-but « loup et chou sur la ligne d'arrivée », ce qui les incite à commencer par chercher à placer d'abord ces deux éléments à l'arrivée. Mais ils prennent très vite conscience des incompatibilités qui empêchent cette solution, et après quelques tâtonnements finissent par atteindre le but. Pourtant, lorsqu'on leur fait décrire après coup leur réussite, ils tendent à dire qu'ils ont placé d'abord le loup et le chou, puis seulement la chèvre (ils escamotent tout le début qui leur a permis d'atteindre le sous-but si important de placer le loup et le chou ensemble à l'arrivée).

Un second groupe d'enfants commencent avec la chèvre, puis découvrent avec quelques tâtonnements la solution. Mais lorsqu'on leur fait décrire ce qu'il faudra faire pour reconduire les trois éléments à leur point de départ, ils affirment vouloir commencer par le transport des deux éléments compatibles sur la rive d'origine.

Enfin, un troisième groupe du niveau IIB découvrent eux aussi avec tâtonnement la bonne solution. Mais à la différence des précédents, ils généralisent immédiatement cette solution au problème inverse de reconduire les trois éléments sur la rive de départ.

Quant aux sujets du stade III, ils comprennent et déduisent beaucoup plus vite ce qu'il convient de faire pour aboutir au but, et ils affirment immédiatement que pour le retour sur la rive de départ, la solution est la même.

Conclusion

Cette recherche confirme une nouvelle fois le primat des caractères positifs des actions par rapport à leurs aspects négatifs, et cela alors même que les aspects négatifs sont ici très simples à comprendre, et ne posent aucune difficulté logique. C'est seulement avec le niveau IIA que débute la prise de conscience que ceux-ci peuvent être aussi importants que les premiers (séparer la chèvre et le loup est par exemple aussi important que réunir le loup et le chou).



Chapitre XI : Contradiction et conservation des quantités (avec C. Othenin-Girard, section I et S. Uzan, section II)

a. Section I : Contradiction et conservation des quantités continues

Les anciennes recherches sur les conservations ont depuis longtemps montré les contradictions et déséquilibres de la pensée dans les stades préopératoires. Mais ce que Piaget va considérer ici, c'est la façon dont les aspects positifs et négatifs peuvent intervenir dans le développement des conservations. Un élément de réponse a déjà été apporté par les recherches sur le transfert ou l'échange entre éléments de deux collections : les sujets commencent toujours par se centrer sur les effets positifs au détriment des effets négatifs d'une action. L'équilibre entre ces effets est au contraire le fait de ce que Piaget appelle la « commutabilité » : une totalité n'est pas modifiée lorsque l'on déplace ses parties composantes, parce que ce qu'on ajoute à un endroit, on l'enlève ailleurs. C'est cette soustraction que les sujets des stades préopératoires ne voient pas ou tendent à dévaloriser dans leurs réponses aux problèmes classiques de conservation (par exemple, une boulette A dont l'égalité par rapport à une boulette B est initialement constatée ne lui est plus égale, contient plus de matière, plus de poids ou plus de volume, que la seconde une fois sa forme modifiée).

Entre autres illustrations de cette absence d'équilibre entre les aspects positifs et négatifs d'une action, on peut mentionner l'opposition bien connue entre renversabilité d'une action, présente dès le stade intermédiaire, et la réversibilité de l'action apparaissant avec le stade opératoire. Au stade intermédiaire, une action est renversable et non pas réversible, dans la mesure où l'action de sens inverse n'est pas vue sous son angle négatif, comme l'inverse de la première, mais comme une action positive permettant de revenir à la conservation initialement constatée. Inversement, deux objets étant reconnus comme ayant une inégalité de quantité (de substance, de poids ou de volume), il sera possible de l'égaliser par une action d'étirement, ce qui n'est une solution acceptable que si on néglige de tenir compte que ce qui est ajouté à un certain endroit de l'objet lui est enlevé ailleurs.

b. Section II : Correspondance itérative et contradiction (avec S. Uzan)

Cette section présente des faits tout à fait remarquables concernant l'accélération possible de l'acquisition de la conservation numérique chez un tiers des enfants de 4-5 ans interrogés. Cette accélération résulterait d'une procédure les conduisant à mieux tenir compte du point de départ d'une série d'actions aboutissant à la question classique de conservation du nombre (l'équivalence numérique se conserve-t-elle

³⁵ Notons ici cette introduction de la notion de correspondance. Peut-être faut-il voir ici l'une des sources des recherches ultérieures sur les correspondances et les morphismes ? Notons aussi que l'analyse fonctionnelle à laquelle Piaget procède partiellement pour expliquer les lacunes des réponses des enfants (qui se centrent sur un cas particulier, dévalorisent les autres, etc.) trouvera une place encore plus nette dans la conception que G. Cellérier proposera en 1992 d'un « groupement (des centrations) de l'attention »...



lorsqu'on modifie la longueur de l'une de deux rangées de jetons disposés devant le sujet ?)³⁶.

Dans cette nouvelle version du problème classique de la conservation du nombre, les enfants commencent par être confrontés à la situation classique : après que le sujet a vérifié l'égalité de deux collections de billes grâce à une mise en correspondance terme à terme de celles-ci, les billes de l'une des deux rangées sont espacées et on demande à l'enfant si elles ont toujours « la même chose » de jetons. Seuls les enfants affirmant catégoriquement que l'une ou l'autre des deux rangées comporte maintenant plus de jetons que l'autre sont retenus pour la suite de l'expérience. On demande à ces enfants non-conservants de placer un à un les jetons des deux collections dans deux bocaux transparents (selon le contexte, ils peuvent avoir la même forme et la même grandeur, ou être de grandeur différente). Au cours de cette opération, on leur demande plusieurs fois s'il a été mis jusqu'ici la même chose de jetons dans les deux bocaux, ce qu'aucun sujet ne nie (il s'appuie pour cela à nouveau sur la correspondance terme à terme). La même question est posée après que douze paires de billes ont été placées une à une et simultanément dans les deux bocaux. Là encore la réponse des enfants est très claire. Par ailleurs chaque bocal a un trou à sa base, trou dans lequel s'insère un long tuyau transparent. Enfin, deux plaquettes contiennent chacune le même nombre (douze) de cuvettes alignées en ligne droite. Sur l'une des deux plaquettes les cuvettes sont plus rapprochées que sur l'autre. Les deux plaquettes sont posées sur une table. L'expérience se poursuit de la manière suivante. Après que l'enfant a dit et répété qu'il y a la même chose de billes dans chaque bocal, on débouche l'orifice qui mène de chaque bocal au tuyau transparent. Les billes roulent en conséquence jusqu'à l'autre extrémité, fermée, du tuyau. On demande au sujet s'il y a la même chose de billes dans les deux tuyaux. Là encore les réponses affirmant l'égalité sont très claires. Enfin, dernière étape, on demande au sujet de prendre les billes dans chaque tuyau, une à une et simultanément, puis de venir déposer les billes de chaque paire, toujours une à une, dans les cuvettes des deux planchettes. Au début de cette dernière action, on lui demande aussi s'il croit qu'il y aura « la même chose de billes » sur chacune des planchettes. La réponse est la même : les sujets s'attendent à trouver la même chose. Après réalisation de l'action, on demande finalement s'il y a la même chose et, si la réponse ne correspond pas à la prévision, ce qui sera toujours le cas, on leur fait comparer leurs réponses divergentes en leur demandant des explications sur cette divergence.

On le voit, il fallait décrire dans le détail la situation à laquelle sont confrontés les enfants pour montrer combien l'expérimentateur fait tout pour renforcer l'activité initiale de correspondance terme à terme, activité qui se prolonge quasi sans discontinuité à travers les différentes étapes de cette situation, ainsi que pour leur rappeler le point de départ, l'égalité dans les bocaux.

Tous les enfants, qui ont entre 4 et 5 ans, sont au début non-conservants. Un sixième environ le restera à travers tout l'entretien, et lorsqu'ils seront confrontés aux réponses divergentes données à la question de l'égalité ou non des deux collections, ils n'y verront pas plus de contradiction que les sujets interrogés sur le problème classique de la conservation. Ces derniers n'étaient eux aussi nullement embarrassés d'affirmer la non-conservation après avoir soutenu l'égalité lors de la juxtaposition initiale des collections de billes placées deux à deux en face l'une de l'autre.

Deux autres groupes d'enfants seront perturbés, plus ou moins selon les cas, par l'opposition entre cette égalité qu'ils n'ont cessé d'affirmer au cours des étapes de



leurs actions, et l'inégalité finale que leur paraît imposer la distribution différente des billes sur les deux plaquettes. Ces deux derniers groupes réagiront toutefois dans deux directions contraires pour se débarrasser de ce qu'ils peuvent ressentir comme une contradiction. Le premier, composé de la moitié ou presque des enfants de 4-5 ans, généralisera l'inégalité finale à l'état initial, qu'ils reconstituent en portant les billes depuis les plaquettes jusque dans les bocaux : a posteriori les deux collections de billes dans les bocaux sont jugées inégales (un enfant dira par exemple que dans un des deux bocaux « il y en a beaucoup parce que les billes viennent de là [la plaquette où il jugeait qu'il y avait plus de billes] », p. 63).

On trouve un troisième type de réaction chez environ un tiers des sujets qui, de non-conservants vont devenir conservants. Confrontés à leurs deux énoncés divergents, ils affirmeront s'être trompés en soutenant qu'il y a plus de billes sur une plaquette que sur l'autre. Cette correction sera suffisamment profonde pour que lorsque l'expérimentateur leur posera une nouvelle fois la question classique de la conservation numérique à laquelle ils avaient répondu négativement au début de la séance, ils donneront sans hésiter un jugement de conservation numérique.

Comparant ce résultat remarquable avec d'anciennes recherches conduites au centre d'épistémologie et dans lesquelles les chercheurs avaient également tenté d'accélérer, sans réussir, la construction du nombre opératoire, Piaget observe que si cette fois il y a eu un apprentissage probant, c'est que dans la présente situation ce n'est ni simplement la correspondance itérative (le fait d'ajouter un à un) ni la seule matérialisation des trajets qui ont été utilisées indépendamment l'une de l'autre, mais les deux ensemble. Cette réunion de la correspondance itérative avec la matérialisation des trajets réussit « parce que chacun de ces deux facteurs oblige à sa façon à centrer l'attention sur les départs des billes et pas seulement sur les arrivées » (p. 65).

Chapitre XII : Contradiction et conservations spatiales ou cinématiques (avec M. Labarthe, section I, C. Gilliéron, section II et A. Blanchet, section III)

Ces trois sections reprennent elles aussi le développement des conservations logico-mathématiques et physiques en le réexaminant du point de vue de l'existence des déséquilibres initiaux, source de possibles contradictions. On va voir que, comme dans le chapitre précédent, ce réexamen débouche sur de nouveaux faits et une conception enrichie de ce développement.

a. Section I : Situations de conflits dans l'évaluation des longueurs

Au lieu de poser le problème de la conservation des longueurs sous sa forme classique (le sujet doit d'abord dire si deux baguettes ont même longueur, ce qu'il vérifie par contiguïté ; puis l'expérimentateur ayant décalé les baguettes, si elles ont toujours la même longueur), on demande à l'enfant de construire deux chemins de même longueur et partant l'un d'une première maison, l'autre d'une seconde, les deux maisons étant légèrement décalées (les sujets ont à leur disposition des mesurants).



En un premier niveau IA (5-6 ans environ), la plupart des enfants ne tiennent pas compte du décalage initial des maisons et créent des chemins qui aboutissent à la même ligne d'arrivée (quelques sujets peuvent réussir simplement par le fait qu'ils posent trois fois l'unité de mesure). Mais ces sujets ne sont pas complètement satisfaits de leurs solutions, dans la mesure où ces chemins sont composés d'un nombre différent d'unités, ou par le fait que perceptivement la différence est suffisamment grande pour qu'elle tende à imposer l'idée d'une inégalité. Si l'enfant échoue quand même, c'est en raison de la prégnance générale du point d'arrivée de toute action, et aussi en raison du fait que l'aspect positif de ce qui est réalisé en ce point (une addition) n'est pas contrebalancé par une même attention portée à ce qui se passe au point de départ (une soustraction). Pour qu'il y ait coordination des points de départ et d'arrivée, il faut que l'enfant tienne compte des quantités positives et négatives qui sont en jeu, et conçoive qu'elles se compensent parfaitement (ce qui signifie que si le sujet considère le négatif, il ne le fasse pas en le dévalorisant, en le considérant comme un rien, mais en lui donnant la même importance que le positif, en le « positif » pour ainsi dire).

b. Section II : Conservation des longueurs et illusions perceptives

L'exposé des résultats de cette recherche comprend deux parties. La première porte sur la mise en relation par les sujets de deux jugements sur la longueur comparée de deux baguettes, qu'ils sont amenés à formuler dans des contextes différents. La seconde est liée au constat que près d'une moitié des enfants de 4-5 ans peuvent donner des réponses de conservation, dans le cas de la situation classique où deux baguettes dont l'égalité de longueur a été vérifiée par congruence sont décalées l'une par rapport à l'autre.

Contradictions entre conservations et illusions perceptives

En ce qui concerne la première partie, la situation à laquelle les enfants ont été confrontés est en tout point identique à l'épreuve classique de conservation des longueurs, sauf qu'au lieu de décaler l'une par rapport à l'autre les deux baguettes, l'expérimentateur les place dans deux configurations dont on sait qu'elles entraînent des illusions perceptives bien connues (elles font apparaître comme inégales des baguettes de longueur réellement égale³⁷). Le sujet est alors invité à dire si les baguettes sont toujours égales. Au stade IIB, vers 9-10 ans, les enfants sauront distinguer la longueur apparente des baguettes de leur longueur réelle (au niveau IIA aussi, mais alors sans pouvoir dépasser le sentiment de malaise provoqué par le fait que des baguettes qu'ils savent égales paraissent inégales). Mais lors du premier stade, entre 4 et 6 ans, la grande majorité des sujets affirment voir des baguettes égales, alors même que la longueur de ces baguettes est déformée par l'effet d'illusion. On a donc ici le résultat en quelque sorte inverse de celui obtenu chez les sujets niant la conser-

³⁶ Il est étonnant que la portée très grande de cette recherche pour le problème des rapports entre apprentissage et développement n'ait pas davantage été soulignée.



vation des longueurs lorsque l'une des deux baguettes reconnues d'abord égales en vient à dépasser l'autre.

Pour quelle raison ces enfants, dont on sait bien (un contrôle l'atteste d'ailleurs) qu'ils sont sensibles aux illusions perceptives qui font voir de différentes longueurs des baguettes pourtant identiques, nient-ils les voir inégales, alors même que certains d'entre eux affirmeront une non-conservation en cas de simple dépassement d'une baguette par l'autre ? C'est que dans le cas du dépassement d'une baguette l'une par l'autre, l'enfant préopérateur utilise un critère cognitivement maîtrisé pour soutenir que l'une des deux baguettes est plus longue. Selon lui, il suffirait de couper la partie par laquelle l'une dépasse l'autre pour que les deux baguettes redeviennent égales (à ce stade, le sujet ne voit pas que ce qu'une baguette gagne en dépassant l'autre, elle le perd à l'autre extrémité).

Par contre, dans le cas des illusions perceptives, celles-ci s'imposent de l'extérieur au jugement ou à l'intelligence. Cela signifie que lorsque l'illusion se présente à lui, le sujet est encore sous l'influence de son activité cognitive récente, qui l'avait conduit à choisir et constater l'égalité des deux baguettes. Dans une telle situation, ce que montre la présente recherche est que la plupart des enfants de 4-6 ans font primer le produit de leur activité intellectuelle sur l'activité perceptive (dont ils ont beaucoup moins la maîtrise). Ils en arrivent alors à refouler l'apparente inégalité révélée par la perception dans la mesure où, pour eux, l'accepter impliquerait la croyance que quelque chose a réellement été changé dans les baguettes, lorsque celles-ci ont été placées dans l'une ou l'autre des configurations entraînant l'illusion perceptive.

Et de fait, les quelques sujets du stade I qui admettront que les baguettes ne sont plus de la même longueur lorsqu'elles sont placées de manière à provoquer une illusion ne sauront pas, comme ceux du stade II, distinguer les longueurs apparentes des longueurs réelles, mais admettront que le simple déplacement d'une baguette a entraîné une réelle modification des longueurs.

Enfin, toujours en ce qui concerne la raison, soit des refoulements précoces, soit des croyances selon lesquelles des modifications réelles sont intervenues dans les baguettes lors de leur déplacement, Piaget considère que l'on retrouve ici l'incapacité des plus jeunes enfants à classer de manière cohérente des observables positifs ou négatifs (ou les aspects positifs et négatifs d'une même action). La seule forme de négation que parviennent à utiliser ces sujets « demeure alors cette sorte de négation pratique et non pas encore constatative consistant à écarter ou même à nier les perturbations contraires aux prévisions qui sont considérées comme exactes » (pp. 78-79).

C'est seulement avec le stade IIB qu'une répartition cohérente, complète et stable des observables permet au sujet de dépasser le conflit entraîné par l'opposition entre les informations perceptives et les inférences et constats cognitifs : « la classe générale B (les tiges égales) devient stable et les deux sous-classes A et A9 également en tant que relatives aux positions et aux 'impressions' subjectives dues au regard : en situation de congruence les tiges demeurent égales (A), mais en position [verticale et horizontale formant un T inversé] ou avec les pennures convergentes ou divergentes elles paraissent différentes (A9) » (p. 79).



L'identité qualitative ou les premières pseudo-conservations des longueurs

Un des apports de cette recherche est de révéler l'existence de pseudo-conservations précoces. La statistique des réponses des sujets de 4 à 7 ans confrontés au problème classique de la conservation montre l'existence d'une courbe bimodale. Plus de la moitié des enfants de 4 ans répondent par la conservation à la question de savoir si deux baguettes, dont les longueurs ont été constatées égales, le restent lorsqu'on fait dépasser l'une des baguettes par l'autre (les deux restant parallèles). A 5 ans, le nombre de jugements de conservation chute en dessous de 50%. Puis la proportion passe à 60% à 6 ans et à plus de 75% vers 7 ans. La question qui se pose est bien sûr de savoir si le jugement de conservation formulé par un enfant de 4 ans a la même signification que le même jugement formulé à 6 ou 7 ans ³⁸.

La réponse à cette question, Piaget va l'obtenir en appliquant à ces jugements dits alors de pseudo-conservation la grille d'interprétation développée dans cet ouvrage pour expliquer les nombreux déséquilibres et contradictions constatés chez les sujets de niveau préopérateur. Les réponses des enfants de 4-5 ans qui affirment que les baguettes sont « la même chose grandes » après avoir été décalées l'une par rapport à l'autre peuvent être comparées aux réponses similaires données dans la situation où les deux baguettes sont placées dans des configurations dont on sait qu'elles entraînent une différence apparente de longueur. L'identité de longueur qu'ils affirment est dans les deux cas une identité toute qualitative, et ne relève pas des processus de quantifications que l'on peut constater chez les enfants de niveau opératoire (ce qui est ajouté ici est compensé par ce qui est du même coup enlevé là, etc.). Les identités qualitatives « expriment essentiellement les caractères des actions globales » exercées par le sujet sur l'objet, alors que les identités quantitatives « tout en comportant [...] aussi des actions du sujet, portent sur les parties [déplacées] de l'objet [...], ce qui implique ipso facto des quantifications, même antérieures à toute mesure » (p. 83).

Enfin, Piaget souligne à nouveau, à propos de la conservation opératoire des longueurs, ce qui a pu déjà être mis en évidence dans les recherches précédemment exposées de cet ouvrage : le rôle important de la commutabilité sur l'acquisition de la conservation, c'est-à-dire de la compensation exacte des éléments additifs et soustractifs intervenant lors du déplacement d'une tige (la partie gagnée en avant du déplacement est perdue à l'arrière).

c. Section III : La conservation du débit (avec A. Blanchet)

Le problème auquel on confronte l'enfant est celui du débit d'eau et de sa vitesse lorsque, provenant d'un même tuyau, le liquide se répartit ensuite dans deux tubes de verre qui prolongent ce tuyau, et qui peuvent être ou non de même diamètre.

Bien qu'intéressante, parce qu'apportant des informations inédites par rapport à une conservation physique (le débit) non considérée dans les anciennes études sur les conservations, cette recherche n'apporte pas d'éléments nouveaux par rapport à l'interprétation des contradictions trouvées dans les réponses des sujets préopérateurs et dans l'interprétation de leur dépassement. Il est ici à nouveau question de certaines centrations sur des observables amenant les jeunes enfants à négliger les



aspects compensant les additions ou les soustractions considérées, et provoquant de ce fait des contradictions dans leurs jugements. Distribuées en cinq étapes (niveaux IA, IB, IIA, IIB et stade III), les réponses des sujets examinés dans cette recherche sont en tout point similaires à ce qui a été constaté dans les recherches précédentes.

Chapitre XIII : Le plein et le vide (avec A. Henriques)

a. Le problème

Une bouteille peut-elle être simultanément « à moitié vide et à moitié pleine », ou bien « presque remplie et presque vide » ? Ce sont des questions plaisantes de ce type qui vont être posées aux enfants dans cette nouvelle recherche. Leur intérêt est de donner, au moins en apparence, un sens aussi « positif » à un état négatif, le vide, qu'à l'état dont celui-ci est la négation, le plein. Dès lors le problème se pose de savoir si la symétrie suggérée par le langage se répercutera sur les faits en démentant la plus grande prégnance initiale des caractères positifs sur leurs contraires, constamment observée dans les précédents chapitres.

b. Stade I

Ce que montrent les réponses des enfants d'un premier niveau IA, c'est une claire dissymétrie entre les notions (et les termes) portant sur le plein et ceux portant sur le vide. Parler de verre « presque plein », « à moitié plein », « tout plein », etc., fait sens pour des enfants de 5-6 ans environ. Mais les mêmes expressions utilisées avec le vide sont bien moins adéquates (« un peu vide » peut être interprété de la même façon que « presque vide »). Les sujets de ce niveau peuvent donc répondre affirmativement à une question telle que : « une bouteille peut-elle être un peu remplie et un peu vide ? » ; mais ils refuseront une question telle que : « une bouteille peut-elle être presque remplie et un tout petit peu vide ? ». Quant à la question portant sur une bouteille « à moitié remplie et à moitié vide », ils l'accepteront, mais la représenteront par le dessin d'un récipient à moitié ou aux trois quarts plein, pour la première moitié de la phrase, et d'un quart plein pour la seconde moitié. Il y a donc tendance au renforcement de la valeur du plein par rapport au vide « à moitié plein » signifiant presque plein, et « à moitié vide » signifiant le peu de liquide qu'il y aurait dans le verre (et non pas la partie vide, complémentaire de la partie pleine). A un niveau IB, un premier progrès apparaît dans la mesure où l'égalité « presque remplie et un petit peu vide » est reconnue.

Les réponses des enfants de 5-6 ans semblent donc montrer très clairement l'existence d'une dissymétrie entre les notions de plein et de vide.

³⁷ Dans l'une des deux configurations, les deux baguettes forment un T inversé ; dans l'autre, elles sont placées l'une sous l'autre sur un carton comportant des pennures convergentes, entre lesquelles viendra se placer l'une des deux baguettes, et divergentes, entre lesquelles viendra se placer la seconde.



c. Stade II et III

A un premier niveau IIA de réponses, qui se manifeste en moyenne vers 7-8 ans, mais que l'on trouve jusque chez des enfants de 9 ans, l'expression « moitié pleine et moitié vide » ne pose plus de problème. Par contre, les sujets ont encore de la peine à utiliser adéquatement la notion de « un peu vide » ou celle de « presque vide ». Par exemple, un sujet acceptera l'affirmation selon laquelle une bouteille pourrait être « presque pleine et presque vide » qui, pour lui, signifie que cette bouteille est « presque remplie et en fait c'est presque vide » (p. 102), ou encore, pour « un petit peu vide et un petit peu remplie » : « ça se peut : si elle est un petit peu remplie il y a de l'eau au fond de la bouteille et si elle est un tout petit peu vide il y a aussi de l'eau au fond de la bouteille » (id.).

Pour quelle raison la notion « presque vide » fait-elle plus problème que « presque plein » ? C'est que dans le premier cas, il s'agit de composer une « négation (vide) avec une semi-négation (presque ou peu) » (id.). Sur le terrain des quantités positives, « presque plein » fait sens dans la mesure où il est compris comme « tout moins une petite partie », ce qui suppose « une partition, la comparaison des extensions de ces parties et une opération négative de soustraction » (p. 104). Partitionner une totalité ne fait alors pas problème pour un sujet de niveau opératoire (comme c'est le cas pour l'addition et la soustraction des liquides entre 7 et 9 ans). Mais, appliquée au vide, la même opération « presque » supposerait la division en parties du vide, puis une soustraction. On comprend donc que les sujets aient plus de difficulté à maîtriser la notion de « presque vide », et qu'ils tendent à l'assimiler à « en partie vide » ou « un peu vide » (qui signifie alors partir du plein pour lui enlever un peu de quantité).

En définitive, il apparaît que les premières acquisitions opératoires ne suffisent pas à régler le rapport entre « tous » et « quelques », ainsi que le jeu des affirmations et des négations, nécessaires à la maîtrise des quantifications opératoires. Ce réglage fait encore problème notamment dans les cas où la pensée doit partir de négations (ici, du vide).

C'est seulement au niveau IIB des réponses, qui s'étire lui aussi entre 7 et 9 ans, que les sujets finissent par répondre adéquatement à toutes les questions, mais non sans tâtonnements. Par exemple, un sujet de 8 ans commencera par croire possible « un petit peu vide et un petit peu pleine » en identifiant « un petit peu vide » à « presque vide » ; puis il se corrigera en reconnaissant qu'« un peu vide », ce n'est pas la même chose que « presque vide », car dans le premier cas « il y a beaucoup d'eau, et presque vide, il y a un tout petit peu d'eau » (p. 106).

Enfin, au stade III (dès 11 ans environ) les questions seront résolues sans tâtonnements cognitifs (il peut encore pourtant subsister quelques incompréhensions verbales, dimension que Piaget a pris soin de discuter et de distinguer du cognitif tout au long de l'exposé des résultats de cette recherche).

d. Conclusions

L'auteur commence par constater que les résultats de cette recherche apportent une claire confirmation à la thèse générale de cet ouvrage : que les contradictions et



les déséquilibres observés dans les premières étapes de la pensée découlent d'une prédominance des éléments positifs sur les éléments négatifs, et de compensations incomplètes entre les caractères négatifs et positifs de l'action et de ses objets.

Mais cette recherche montre aussi que, jusqu'au niveau IIA, les enfants n'ont pas conscience de formuler des contradictions. Quel est alors le statut de la contradiction dans l'évolution de leur pensée ? Pour Piaget, il convient de distinguer, en plus de la contradiction logique entre énoncés, une contradiction fonctionnelle qui se produit sur le plan des actions. Ces deux niveaux de contradiction se rejoignent certes « lorsque, muni d'un appareil opératoire suffisant dû aux rééquilibrations, le sujet devient capable de prendre conscience des contradictions et de les formuler, ce qui le conduit aussitôt à les éviter ou à les dépasser » (p. 108). Mais auparavant, le sujet peut très bien s'avérer contradictoire dans les faits, sans que lui-même ne prenne conscience de ses contradictions. Dans cette expérience, c'est le cas des sujets qui, à un certain moment, considèrent l'expression « un petit peu vide » comme égale, selon les situations, à « un petit peu rempli » ou alors « presque rempli ». La contradiction n'est alors présente, au stade I, qu'entre des schèmes non coordonnés les uns avec les autres et qui conduisent le sujet à interpréter tantôt dans un sens tantôt dans un autre les expressions qu'on lui présente. Ce défaut de coordination se traduit par une absence de compensation des composantes positives et négatives de chaque situation (ici entre les parties pleines et les parties vides). Bien que les modifications apportées par les sujets aux expressions en jeu leur évitent de se confronter aux incohérences logiques de leur pensée, il n'en reste pas moins que celles-ci existent et peuvent se traduire par des indécisions embarrassantes pour le sujet.

Avec le progrès des quantifications, dans le cas du traitement des quantités positives (le plein, auquel on peut soustraire du liquide, etc.), le sujet va d'ailleurs, dès le stade IIA, mettre de plus en plus en rapport ces quantités avec leurs complémentaires. Dès lors il prendra explicitement conscience des contradictions provoquées par le manque de symétrie de sa pensée, ou par les insuffisantes compensations entre les caractères positifs et négatifs de ses actions et des objets auxquels elles s'appliquent. En un mot, le déséquilibre initial de la pensée « crée une gêne, devenant consciente à partir du moment où le sujet n'oublie plus ses réponses aux questions antérieures lorsqu'il en aborde une nouvelle et tient à relier toutes ses réactions à la complémentarité du plein et du vide » (p. 110).

³⁸ De telles mises en évidence portant sur des compétences « précoces » similaires ont souvent conduit leurs auteurs à affirmer qu'elles infirmaient la théorie piagétienne du développement de l'intelligence. Cette brève section sur les jugements précoces de conservation des longueurs offre le grand intérêt de montrer que les faits découverts ne conduisent pas à rejeter celle-ci, mais au contraire à l'enrichir grâce à une meilleure caractérisation de ce que sont les conduites et les jugements préopératoires des enfants du stade I et du début du stade II.



Chapitre XIV : Les contradictions relatives au « presque pas » (avec T. Vergopoulos, section I et C. Dami, section II)

Les recherches de ce chapitre reprennent certaines observations de R. Carreras sur le développement des formes élémentaires de l'infinésimal chez les enfants, mais en reposant les questions du point de vue de l'étude des contradictions.

a. Section I : Les déplacements de règles et le poids des grains de sel

La situation expérimentale est simple. On donne de légers coups sur une tige métallique, en provoquant un déplacement d'abord imperceptible de celle-ci. Comment les sujets vont-ils concilier leurs constats initiaux de l'absence de déplacement avec leur constat final d'un déplacement de la tige ? Piaget souligne le fait que, dans cette expérience, la négation d'un mouvement semble précéder son affirmation. Cette situation particulière ne contredit cependant pas le primat des affirmations sur les négations constaté dans l'ensemble des recherches. Cela n'aurait été le cas que si une absence de mouvement était une opération de négation d'un mouvement (c'est-à-dire de déplacement en sens contraire, ce qui n'est manifestement pas le cas ici). La négation à conquérir dans cette recherche sera au contraire celle de l'absence de mouvement, c'est-à-dire d'un constat qui a en tant que tel une valeur positive (« primat de l'observable par rapport à ce que l'on ne voit pas », p. 126).

Ce premier problème posé aux enfants sera complété par un second, portant sur l'effet d'un ajout un par un de grains de sel dans un récipient (un coquetier) initialement vide sur le poids de celui-ci.

Stade I

Vers 5-6 ans les enfants ne sont nullement gênés d'affirmer que de petits coups sur la barre ne font rien, puis qu'un nouveau coup très léger déplace au contraire celle-ci, comme d'ailleurs les suivants. Ils pensent en outre que ça avance plus à l'avant de la barre qu'à l'arrière. Pour les grains de sel, ils pensent pareillement que les premiers (1 ou 2 ou 3) grains ajoutés ne pèsent pas, mais que dès qu'il y en a un petit tas, ça pèse.

Pour expliquer que les premiers petits coups ne font rien et qu'un nouveau coup pareil aux autres fera avancer la tige, un enfant dira que « plusieurs petits coups, ça fait un grand coup » (p. 116). Il conçoit donc une addition globale des forces, alors que les coups se font successivement ! Cette réponse suggère que c'est l'incapacité de coordonner correctement les actions positives en jeu, leurs effets ou leur absence d'effets apparents, ainsi que les négations telles qu'elles apparaîtront ultérieurement, qui explique cette insensibilité initiale des jeunes enfants à ce qu'ils admettront plus tard être une contradiction (une addition de petits coups successifs ne devrait pas avoir plus d'effet que chacun d'entre eux). Il en va de même pour l'addition des poids des grains de sable, qui n'est manifestement pas prise en compte à ce premier stade.



Stade II et III

Lors d'un premier niveau IIA, vers 7-8 ans, les enfants ne considèrent plus comme possibles des inégalités de déplacement entre les deux extrémités de la barre. De plus, ils prennent conscience du problème que pose l'affirmation selon laquelle un déplacement apparaîtrait seulement à la suite du *énième* coup, les premiers coups n'ayant pas d'effets (même chose pour le problème du poids de 2 ou 3 grains de sel comparativement au poids d'un tas de grains). Dans le cas de la barre, certains de ces sujets vont alors imaginer que l'expérimentateur a fini par donner un coup plus fort sur elle ; ou bien ils affirment qu'il faut donner plusieurs coups pour que cela fasse un coup fort. En ces cas, ils utilisent une affirmation que l'on peut trouver au stade I, mais cette fois après constat de la bizarrerie d'une tige qui commence par ne jamais bouger, puis qui tout d'un coup se déplace, et en ajoutant l'idée d'une force, d'un élan, ou d'une puissance qui s'accumule à l'intérieur de la barre et qui finira par la faire avancer. Aucun sujet ne se permet toutefois de remettre en question le constat perceptif. Ils ne voient pas la tige bouger, donc elle ne bouge pas. Il y a ainsi chez eux une très claire « identification de l'existant et du perceptible » (p. 119). Cette identification exclut alors « les notions du ' presque rien ' ou du ' presque pas ' indispensables à la quantification du négatif » (id.), comme l'ont montré les résultats du chapitre précédent.

C'est à partir du niveau IIB que les sujets déduisent du déplacement constaté au *énième* coup que, forcément, quelque chose a dû se passer dans les coups précédents, quelque chose qui s'ajoute à chaque coup, une addition de chocs, d'ébranlement, etc. Certains des sujets finissent alors par rompre avec les données de la perception et par concevoir que cela a dû bouger, même si l'on ne voit rien.

Au stade III enfin, la déduction prime d'emblée sur la perception. La tige doit bouger dès le premier coup, sinon « ça ne bougerait jamais » (p. 123). Il en va de même pour les grains de sel, dont les poids s'ajoutent dès le départ, même si on ne les sent pas.

Conclusions

Le problème que doivent résoudre les sujets est de trouver le moyen de coordonner des négations successives imposées par la perception avec une affirmation qui leur succède et qui est également imposée par elle. La nécessité de cette coordination n'apparaît pas d'emblée, mais seulement lorsque les sujets considèrent que le déplacement final est lié non seulement à la dernière action du sujet mais aussi aux actions précédentes et à leur effet. Au premier stade on trouve déjà un sujet qui admettra quelque chose comme « rien plus rien plus rien, ça fait quelque chose », mais sans qu'il n'éprouve le besoin d'expliquer comment cela est possible.

C'est seulement à partir du stade IIA que le problème se pose, parce que le développement des opérations a suffisamment progressé pour qu'une affirmation telle que la précédente devienne tout à fait inacceptable. Les sujets se doivent alors, soit d'admettre qu'il y a un problème qu'ils ne parviennent pas à résoudre, soit de trouver une réponse expliquant les constats débouchant sur ce qui apparaît être une contradiction (« rien plus rien plus rien, ça fait quelque chose »). Après avoir, pour certains, cherché du côté de l'action de l'expérimentateur la solution « il aurait frappé plus fort », ils vont supposer que c'est à l'intérieur de l'objet que quelque chose s'additionne



jusqu'à un point où le déplacement de l'objet deviendra effectif. Cette recherche finira par déboucher sur la solution qui consiste à trouver les « négations partielles (petits déplacements invisibles) » entrant dans l'addition finale. Ces négations partielles sont en effet les « déplacements presque nuls » dont la somme finit par donner un déplacement visible.

b. Section II : L'empilement des feuilles de papier

Une troisième recherche, proche de celles sur les déplacements invisibles et les additions de grains de sel, porte sur les hauteurs comparées de deux piles construites en posant simultanément sur chacune d'elles des feuilles de papier de même épaisseur. Une fois les deux piles ainsi édifiées, et reconnues être de la même hauteur dès le stade I, l'expérimentateur demande au sujet si elles le restent lorsqu'on ajoute (ou enlève) une feuille à l'une des deux.

Les étapes franchies par les enfants sont les mêmes que dans les recherches sur les déplacements invisibles et les grains de sel, hormis deux points importants. Premièrement, les réponses correctes sont obtenues bien plus tôt dans le cas de la comparaison des hauteurs que dans les deux autres situations, soit dès le niveau IIA, vers 7 ans. Deuxièmement, on ne constate pas le décalage observé dans la recherche sur les grains entre l'addition et la soustraction d'un élément (dans la recherche sur le poids d'un tas de grains de sel, au niveau IA, ôter un grain de sel pouvait être considéré comme modifiant le tas, contrairement à l'action contraire d'en ajouter un). Pourquoi les enfants répondent-ils plus précocement de manière correcte lors de cette troisième situation ? Selon Piaget, deux différences importantes opposent ces situations et sont susceptibles de fournir une explication : la structure logique des problèmes traités de part et d'autre, ainsi que la nature de l'évaluation intervenant dans les deux cas.

En ce qui concerne la structure logique en jeu, l'auteur note que, pour le problème de l'empilement des feuilles, la question qui se pose à l'enfant est celle d'un dépassement invisible de l'une des piles par l'autre ; elle porte sur deux termes dont il s'agit de comparer la hauteur. Pour le problème des déplacements invisibles, la question ne porte que sur un seul terme. Le premier problème met directement en jeu une relation asymétrique dont les valeurs sont sériables, tandis que le second peut être conçu comme impliquant un prédicat absolu (un déplacement peut être considéré comme appartenant à des classes « petit », « grand » ou « nul », non mises en rapport les unes avec les autres).

Cette première différence que Piaget évoque sans réserves pour expliquer les réponses plus précoces au problème de l'empilement peut ne pas paraître complètement convaincante. Les anciennes recherches sur la sériation logique montraient en effet que l'une des difficultés des jeunes enfants était précisément de traiter les relations asymétriques comme des prédicats absolus. Venons-en à la seconde différence.



Dans le problème de l'empilement, l'enfant commence par ajouter à chacune des piles une feuille, puis une nouvelle feuille et ainsi de suite. Il peut donc à tout moment non seulement constater l'égalité de la hauteur des piles, mais considérer que cette égalité est la conséquence de la correspondance terme à terme de ses actions. Puis arrive le moment où la symétrie est rompue et une feuille ajoutée (ou enlevée) à une seule des piles. Cette rupture de la correspondance terme à terme est certainement l'élément clé qui permet de comprendre que les sujets de niveau IIA, constatant que ce qui est ajouté (ou enlevé) à l'une des piles ne l'est pas à l'autre, en déduisent la présence d'un dépassement, quand bien même celui-ci reste imperceptible. Contrairement à ce qui se passe pour les coups donnés à une barre ou pour les grains de sel, dans le problème de l'empilement le sujet n'a nul besoin de déduire qu'une série de dépassements imperceptibles finit par donner un dépassement visible. Il lui suffit de constater qu'une action d'addition est réalisée d'un côté, mais pas de l'autre.

En bref, dans cette troisième expérience, à aucun moment le sujet n'est confronté à une contradiction interne à sa pensée. La seule contradiction, qui peut se présenter à lui dès le premier stade, découle de l'opposition entre la prévision, faite très tôt, que si l'on ajoute une feuille à une seule des deux piles, alors celles-ci ne seront plus de même hauteur, et la perception, qui révèle au contraire une égalité (apparente) de la hauteur des deux piles après cette addition dissymétrique. En ce cas, et comme pour les autres expériences, la contradiction propre au premier stade provient du fait que le sujet ne parvient pas encore à envisager l'existence d'écarts imperceptibles.

Chapitre XV : Les contradictions en cas de facteurs extérieurs multiples (avec T. Vergopoulo, section I, M. Gainotti-Amann, section II et J. de Lannoy, section III)

Ce dernier chapitre rapporte brièvement les résultats de trois recherches.

a. Section I : Les mouvements relatifs

Le problème de mouvements relatifs posé aux enfants met en jeu, pour sa solution, des compositions de mouvements qui concernent des opérations additives ou soustractives de mouvements déjà partiellement considérées dans les chapitres antérieurs. Le problème traité dans cette nouvelle recherche est toutefois plus complexe, dans la mesure où il s'agit de dissocier et composer des déplacements simultanés de mobiles dont les mouvements sont interdépendants par rapport à un référentiel extérieur, ce qui, comme d'anciennes recherches l'ont montré, n'est résolu que vers 11-12 ans dans les cas simples). La situation se présente sous la forme suivante : deux personnages A et B sont assis ensemble ou séparément à l'avant ou à l'arrière d'un train franchissant un tunnel. Ils peuvent pénétrer ou sortir ensemble ou séparément dans le tunnel, et l'un des personnages peut se déplacer pour aller de l'arrière vers l'avant ou de l'avant vers l'arrière, soit en se rapprochant de l'autre, soit en s'en éloignant.



Les questions posées aux enfants portent sur les temps respectifs pendant lesquels ces personnages sont restés dans le tunnel.

Stade I

A un niveau IA, les enfants répondent en tenant compte le plus souvent exclusivement de ce qui se passe à la sortie du tunnel. Si les deux personnages sont sortis ensemble, alors ils ont passé le même temps dans le tunnel. Au niveau IB par contre (vers 6-7 ans), les enfants deviennent attentifs au rôle d'abord négatif, puis positif, que peuvent jouer les déplacements dans le train ; mais ils sont alors considérés « indépendamment de leur direction par rapport à celle du train » (p. 136). Un des deux personnages est ainsi jugé être resté plus longtemps dans le tunnel « parce qu'il doit marcher pour rejoindre son copain [qui est à l'avant du train] » (id.) ! Comme marcher prend du temps, ce temps est additionné à celui pris par le train pour traverser le tunnel.

Stade II et III

Les sujets de ce stade comprennent que si un personnage marche en direction inverse du train, il prendra plus de temps pour franchir le tunnel que s'il ne bougeait pas. Mais à un premier niveau IIA (7-8 ans), s'ils parviennent à trouver les bonnes réponses, c'est seulement après des tâtonnements plus ou moins longs suivant les situations, et après avoir constaté effectivement l'entrée et la sortie du train dans le tunnel. Lorsqu'il s'agit d'anticiper le résultat de différents mouvements possibles, ils retombent par contre au niveau I. Ce n'est qu'au niveau IIB (9-10 ans environ) qu'ils pourront réaliser de telles anticipations.

Au stade III, les sujets résolvent les problèmes dès l'anticipation et ils donnent des réponses dans lesquelles il est fait spontanément référence « à la composition des vitesses relatives » (p. 138).

Conclusions

Les contradictions observées dans les réponses des enfants (et dont ils ne sont pas forcément conscients) tiennent, là comme ailleurs, au primat de la dimension positive des actions (point d'arrivée surestimé, temps positif de la marche, etc.), et aux lacunes des compensations entre actions directes et inverses. A cela s'ajoute la nécessité de composer un premier mouvement (par exemple avancer) par rapport à un second (ce qui fait que l'action d'avancer d'un des personnages peut être une action de reculer par rapport au mouvement du train).



b. Section II : Le rôle de la négation lors de la conjonction de deux facteurs : le « pas seulement »

Dans cette recherche, deux facteurs interviennent également, qui peuvent agir dans le même sens ou dans en sens contraire par rapport à un phénomène tel que l'équilibre de la balance : cet équilibre ne dépend pas seulement du poids des objets, mais aussi de leur position.

Comme dans la recherche précédente, c'est seulement au niveau IIA que les sujets commencent à considérer non plus le seul poids, mais aussi la position, c'est-à-dire que s'il est nécessaire de tenir compte du poids, cela n'est pas suffisant. Au premier niveau, les écarts entre les prévisions reposant sur la seule égalité des poids et les constats (déséquilibre possible malgré cette égalité) sont attribués à des « inégalités mystérieuses » (p. 144) ; et lorsque les sujets parviennent parfois à faire disparaître le déséquilibre en plaçant différemment les poids, ils ne prennent pas conscience que la position est un facteur sur lequel il faut nécessairement compter.

Piaget conclut cette section en formulant quelques remarques sur la négation spéciale qui intervient au niveau IIA, lorsque les sujets prennent conscience du « pas seulement » ou du « pas suffisant ». Les a_1 non- a_2 , c'est-à-dire les poids seuls, ou les a_2 non- a_1 , les positions seules, ne suffisent ni les uns ni les autres à assurer l'équilibre. Seuls les a_1 et les a_2 assurent conjointement celui-ci.

c. Section III : Les combinaisons de trois facteurs

Soit une balle lancée contre un mur et qui doit revenir vers soi. Trois facteurs doivent être pris en compte pour atteindre le but (le retour vers le lanceur) : la distance du joueur par rapport au mur, la hauteur à laquelle la balle frappe le mur, et enfin la force avec laquelle la balle est lancée. Quatre combinaisons sont acceptables (par exemple, « loin, fort et haut ») et quatre sont exclues (par exemple, « loin, faible et haut »). Les sujets sont interrogés sur des questions telles que celle de savoir comment lancer la balle si on est près du mur.

Avant le niveau IIB, les sujets mentionnent spontanément quelques combinaisons possibles, sans pouvoir expliquer les effets imprévus qu'elles produisent, mais sans s'en étonner non plus. Au niveau IIB encore, vers 10-11 ans, les sujets ont de la peine à prévoir l'effet de la combinaison des facteurs, par exemple ce qui se passe si une balle lancée de loin vient frapper le haut du mur.

Ce n'est qu'au stade III que les sujets commencent à faire des hypothèses concernant la combinaison des facteurs. Au niveau IIIA, leurs prévisions restent toutefois souvent erronées (par exemple un sujet pourra prédire qu'une balle qui est lancée lorsqu'on est près du mur et qui vient frapper le haut de celui-ci partira loin du mur) et ils ont de la peine à comprendre pourquoi. Par ailleurs ils considèrent que le nombre de possibilités différentes de lancer la balle est la même lorsque le lancer se fait en étant proche ou éloigné du mur et ils sont embarrassés de découvrir que ce n'est pas le cas (lorsqu'on est près, on peut lancer faiblement ou fortement la balle, tandis



que de loin, on est obligé de la lancer fortement). Par contre, au niveau IIIB, les sujets savent expliquer de telles dissymétries.

S'il faut attendre le niveau IIIB pour que les contradictions entre les différentes affirmations que l'on trouve auparavant puissent être dépassées, c'est qu'il faut que les sujets tiennent compte des deux implications « loin . fort » et « haut . fort », « avec les exclusions qu'elles comportent, puisqu'elles ne sont pas symétriques » (p. 151).

Conclusions générales

a. Remarques préalables

Piaget commence par rappeler le problème central de ces recherches : l'examen des contradictions inhérentes à la « pensée naturelle », en tant que liées aux déséquilibres et autres conflits intellectuels de celle-ci, par opposition à la contradiction logique qui consiste à affirmer simultanément la vérité de p et de non- p . Contrairement aux contradictions logiques, qui découleraient d'« erreurs de calcul », les contradictions de la pensée naturelle surgiraient dans le contexte de problèmes dont le sujet ne connaît pas encore les solutions (l'opposition proposée ici n'est peut-être pas complètement satisfaisante, dans la mesure où une contradiction logique pourrait provenir non pas d'une erreur de calcul, mais d'un choix d'axiomes ou de prémisses contradictoires, au sens de la « pensée naturelle »³⁹).

Quatre thèmes sont abordés par rapport à ces contradictions inhérentes au fonctionnement de la pensée (et de l'action). Le premier est celui de leur nature ; le second est celui du dépassement de ces contradictions (alors que des contradictions formelles ou logiques ne sont pas dépassées mais supprimées) ; le troisième thème porte sur les rapports entre ces processus de « dépassements dialectiques » et ceux de l'équilibration ; enfin le quatrième porte sur les niveaux des nombreuses contradictions observées dans les recherches, ces contradictions pouvant rester inaperçues des sujets aussi bien que donner lieu à des prises de conscience plus ou moins précises.

b. Nature des contradictions

Une première classe de contradictions rencontrées est caractérisée par le fait qu'une action jugée à tort ou à raison inchangée aboutit ou semble aboutir à des résultats opposés (par exemple la roue qui monte la pente au lieu de la descendre, ou une lettre qui paraît s'inverser dans le miroir, contrairement à une autre).

Une deuxième classe de contradictions est liée au fait que des classes d'objets ne sont pas correctement disjointes (comme c'est le cas dans l'expérience du premier chapitre sur des différences imperceptibles, expérience lors de laquelle les jeunes sujets classent un élément à la fois dans la classe des petits objets jugés de même grandeur et dans celle des grands objets).

Enfin, un troisième ensemble de contradictions résulte d'inférences erronées, en particulier de fausses implications (exemple : de ce que tous les cubes rouges d'une



collection produisent un son, il en résulterait que tous les cubes de la même collection produisant un son seraient rouges).

Mais ces trois sortes de contradictions partagent un caractère commun : une compensation incomplète entre les affirmations (ou attribution d'une qualité a à une classe A) et les négations (attribution de $a9$ à $A9$, complémentaire de A sous B). Dans le premier cas, les sujets ne voient pas que deux actions crues identiques sont différentes (classification erronée des actions), ou alors que deux résultats crus distincts sont en fait similaires (classification erronée des effets des actions). Dans le deuxième cas, un objet peut se voir attribuer une qualité qui le fait appartenir à la classe complémentaire de celle dans laquelle il est par ailleurs classé. Et dans le troisième cas, les sujets ne tiennent pas compte du fait que l'implication logique d'une affirmation par une autre contient le cas où la deuxième est vraie alors que la première est fausse, qui est la négation de l'implication réciproque entre la deuxième affirmation et la première. Cette compensation incomplète peut être plus ou moins grande selon que « la partie commune $A.A9$ entre deux classes complémentaires est plus ou moins étendue ou comporte plus ou moins de caractères contradictoires $a.a9$ » (p. 157).

Soulignons au passage que l'un des intérêts manifestes de ces recherches sur les contradictions liées au fonctionnement de la pensée par rapport aux anciennes études sur la genèse des notions et des opérations est de procéder à un examen logique plus détaillé des lacunes et des caractéristiques des conduites et des jugements des enfants préopérateurs.

c. Autres classifications

Parmi d'autres classifications possibles des contradictions, mais qui ne dérogent pas aux distinctions précédentes, Piaget mentionne l'opposition entre les contradictions réelles, qui caractérisent le fonctionnement de la pensée (particulièrement préopérateur), et les pseudo-contradictions que les jeunes sujets croient voir entre des états, des actions ou des affirmations qui ne le sont pas (par exemple l'impossibilité qu'un verre à moitié plein puisse être simultanément considéré comme à moitié vide).

Une autre subdivision est celle qui oppose les contradictions résultant de conflits entre schèmes, et les contradictions entre les prévisions d'un schème anticipateur et les faits extérieurs venant les démentir (il y a d'ailleurs aussi opposition entre schèmes dans le second cas, mais d'anticipation et de lecture). Piaget note qu'il est plus facile de prendre conscience des secondes que des premières, entre autres par le fait que dans les secondes les négations proviennent d'abord de l'extérieur.

Une troisième subdivision, qui recoupe la précédente, est la plus ou moins grande difficulté de la prise de conscience de la contradiction. Lorsque celle-ci se produit entre affirmations successives, il est relativement facile pour le sujet d'en prendre conscience. Au contraire, lorsque la contradiction concerne des traits structuraux de la pensée préopérateur, sa prise de conscience est plus tardive et passe par ses effets sur l'action ou sur les affirmations successives des sujets.

L'auteur montre à nouveau que l'ensemble de ces contradictions repose sur des compensations incomplètes entre affirmations et négations, ou sur une mauvaise répar-



tition des traits positifs et des traits négatifs. Lors d'une prévision démentie par les faits, par exemple, la négation extérieure est rendue possible par un défaut de délimitation entre les cas subsumés par un schème et ceux qui y dérogent. Pour dépasser cette sorte de contradiction, les faits nouveaux devront être rangés dans une classe complémentaire à ceux tombant sous la « loi » remise en cause par eux (en d'autres termes, il s'agit de parvenir à un réglage adéquat du « tous » et du « quelques », ou à une délimitation adéquate des classes et de leurs complémentaires).

d. Les dépassements

Deux processus seraient constamment présents dans les dépassements des contradictions : « élargissement du référentiel et relativisation des notions » (p. 160 ; Piaget donne comme exemple de l'élargissement le fait d'introduire la position d'un objet en plus de son poids pour prévoir et expliquer adéquatement l'équilibre de la balance).

Mais ces deux processus feraient tous deux intervenir un jeu de compensations entre affirmations et négations. Elargir le référentiel accroît en effet le nombre de négations possibles. Quant à la relativisation des notions, il suffit de rappeler que dans les épreuves classiques de conservation, la considération de deux dimensions ou plus accroît les compensations possibles (on peut compenser « plus lourd x moins loin » par « moins lourd x plus loin », etc.).

Pour quelle raison les jeunes sujets ont-ils tant de peine à prendre conscience des contradictions nombreuses que l'adulte peut constater dans le fonctionnement de leur pensée ou dans leurs actions ? C'est que, hormis pour le cas de la négation qui s'impose de l'extérieur entre un schème et des objets qui résistent à leur assimilation (donc entre une anticipation et un fait), le sujet doit construire les négations qui lui permettront de prendre conscience des contradictions découlant de l'absence ou des insuffisances de coordination entre ses schèmes. Faute de ces négations, le sujet ne raisonne ou ne prend en compte que les caractères positifs de ses actions ou des propriétés des objets.

e. Contradiction et équilibration

L'auteur commence par souligner le fait que les contradictions inhérentes à la pensée préopératoire « consistent en déséquilibres et non pas en contradictions logiques », c'est-à-dire en « travaux virtuels non compensés et non pas d'une incompatibilité formelle entre énoncés » (p. 163). De plus, ces contradictions concernent aussi bien les actions que la pensée des jeunes sujets. Pourquoi donc ces nombreux déséquilibres initiaux et le temps qu'il faut pour les dépasser ? Parce que ceux-ci ne tiennent pas essentiellement à des obstacles extérieurs, mais à des « concentrations polarisées de façon systématique sur [...] les éléments positifs » de l'action et de la pensée (p. 164) : le but à atteindre, les caractères positifs d'un objet par opposition aux caractères négatifs, et enfin l'absence de considération du fait que toute action comporte non seulement un aspect positif (rapprochement du but, etc.), mais aussi un aspect négatif, ou que toute addition est simultanément une soustraction (par rapport au point de départ).



f. Affirmations et négations

Les raisons du primat initial des affirmations sur les négations se retrouvent à tous les « paliers hiérarchiques de la conduite » (p. 165 ; on trouve dans cette expression comme un écho de la théorie hiérarchique des conduites que Pierre Janet a développée dans les premières décennies du XX^e siècle). Au niveau perceptif, tout est bien sûr positif, les démentis perceptifs ne prenant leur sens de négation que par rapport à des attentes du sujet dépassant la perception. Sur le plan de l'action sensori-motrice, le négatif commence avec les mouvements de suppression d'un obstacle extérieur par rapport à un but premier toujours positif (il n'y a donc pas encore de négations intérieures). De même les feed-back n'ont eux aussi de sens que par rapport à un but également positif. On constate également des conduites de refus précédant le langage dans les conduites interindividuelles, mais il ne s'agit là aussi que d'écarter un obstacle. C'est avec les débuts de la conceptualisation qu'apparaissent les premiers jugements négatifs élémentaires, mais toujours sur un fond préalable d'affirmation. Le plan verbal illustre d'ailleurs ce primat du positif jusque dans le langage adulte avec une dissymétrie entre les termes positifs et négatifs. Ce n'est qu'avec l'apparition des structures opératoires que les opérations négatives prennent un statut forcément équivalent aux opérations positives.

g. Niveaux des affirmations et négations

Piaget distingue trois formes successives d'affirmations auxquelles il fera correspondre ensuite trois formes de négations.

La première forme est liée à l'assimilation à un schème, qui est « prise de possession des caractères [...] de l'objet » (p. 167). Puis, avec la conceptualisation préopératoire, il y a encadrement des objets par des formes logico-mathématiques plus ou moins cohérentes. Enfin, au niveau opératoire de nouvelles formes plus stables, plus différenciées et mieux intégrées sont construites qui enrichissent « l'assimilation des données exogènes » (p. 168).

La première des trois formes de négations plus ou moins intérieures qui correspondent à ces différents niveaux d'affirmations consiste dans les tentatives de supprimer les perturbations extérieures faisant obstacle à l'assimilation par les schèmes de leur « nourriture » (ce sont les conduites de type a qui seront exposées dans L'équilibration des structures cognitives, alors encore à paraître, précise Piaget). Il s'agit donc d'une négation toute pratique.

Avec les débuts de la construction des classes et des relations encadrant les objets, « un second type de négations se constitue qui consiste à refuser à un objet l'appartenance à une classe ou la participation à une relation » (p. 169). Ce type de « négation constatative » intègre progressivement dans les systèmes de classes et de relations encore peu stables les perturbations extérieures « à titre de variations [...] qu'il importe de considérer en elles-mêmes et non plus d'écarter » (id.). Ces négations correspondent aux conduites b exposées dans L'équilibration des structures cognitives. La délimitation insuffisante des complémentaires, la quantification lacunaire d'une notion telle que celle du vide (par opposition à celle du plein plus vite maîtrisée), etc., montrent qu'à ce niveau les négations ne peuvent pas encore compenser parfaitement



les affirmations, ce déséquilibre structural se manifestant par la persistance du primat du positif sur le négatif.

Enfin, aux affirmations opératoires du troisième niveau correspondent nécessairement des négations opératoires qui sont les inverses des premières. Toutes les perturbations externes possibles qui antérieurement auraient pu perturber le fonctionnement d'un système cognitif sont représentées par les variations internes du système alors engendrables par les opérations inverses du système (ou conduites *g* de l'ouvrage mentionné ci-dessus).

Piaget termine cette section en remarquant que si l'évolution des négations manifeste les mêmes processus « d'internalisation » et de « relativisation » (p. 170) que celle des affirmations, on observe un retard constant de la première sur la seconde.

h. Contradictions entre actions

Aux trois formes d'affirmations et de négations correspondent les trois formes de contradictions observées dans cet ouvrage : contradictions entre actions, entre sous-systèmes et enfin contradictions en rapport avec les opérations.

La contradiction entre actions (par exemple, celle qui a été constatée lorsqu'il s'agissait de mettre en contact trois crayons les uns avec les autres, les mises en contact de 1 et 2, et de 2 et 3, étant au début contradictoires avec celle de 1 et 3) surgit parce que le sujet, centré sur la réussite d'une action, ne tient pas compte des négations ou des aspects négatifs de cette même action. Toute action comporte en effet forcément non seulement des aspects positifs, mais également des aspects négatifs (une action exclut les actes complémentaires qui auraient pu être réalisés à sa place). Le sujet ne parviendra à l'équilibre dans un domaine donné que lorsqu'il aura adéquatement délimité les actions avec leurs traits positifs et négatifs. Une seconde « condition logique » (p. 172) de toute action est liée au fait que si la réalisation de toute action a un effet positif, elle a aussi forcément un effet négatif (enlever un clou à une place pour le clouer ailleurs peut avoir des conséquences fâcheuses). Là aussi, ce n'est que lorsque le sujet saura ne pas négliger ces deux aspects complémentaires d'une action que les contradictions résultant d'un primat du positif sur le négatif seront dépassées.

i. Contradictions entre sous-systèmes

On est ici sur le plan de la conceptualisation des actions en préopérations et sur celui des premiers encadrements conceptuels des objets. Les contradictions propres à ce niveau seraient la conséquence d'un manque de coordination entre les facteurs positifs et négatifs intervenant, par exemple, dans la répartition des objets lors de la construction des classes, ou dans le traitement des différences lors de la construc-

³⁹ On peut aussi se demander si la notion de « pensée naturelle » n'est pas trompeuse. Il n'y a de pensée que celle d'un sujet (qu'il soit enfant, logicien, mathématicien de profession, etc.), et toute pensée ne peut donc être que naturelle (exception faite de la « pensée artificielle » que l'on peut à tort ou à raison attribuer aux machines logiques).



tion d'une relation asymétrique (de longueur, par exemple). Là encore les coordinations complètes exigent deux conditions qui ne seraient pas remplies à ce niveau. La première est celle de la compensation entre ce qui est prélevé au départ d'une préopération et à son arrivée. Le non-respect de cette première condition dans le cas des coordinations insuffisantes liées aux préopérations arithmétiques, géométriques, etc., explique les nombreuses contradictions auxquelles se heurtent les enfants dans les problèmes de conservation. Quant à la seconde condition, elle a aussi à voir avec les exclusions dont il était question dans le dépassement des contradictions entre actions : affirmer une relation, une conclusion, etc., c'est exclure tout ce qui leur est contraire. Affirmer que A est plus petit que C, c'est exclure que A soit plus grand que C, ou égal à C ; affirmer qu'un objet est présent dans une classe, c'est exclure qu'il soit présent dans sa complémentaire, ou dans les sous-classes qui composent celle-ci.

On voit que, dans les contradictions intervenant au sein de la représentation (par exemple, celles qui opposent deux actions) se trouvent deux types de négations, les unes internes, les autres externes. Les secondes sont les actions exclues par l'action réalisée, ou les classifications exclues par une classification ; quant aux négations internes, ce sont les traits négatifs que comporte forcément toute action ou toute opération. Il y a donc une analogie profonde entre les contradictions pouvant survenir sur le plan des actions et sur celui de la pensée, ainsi qu'entre leurs dépassements, puisque dans les deux cas il s'agit de compenser les aspects positifs, ou les affirmations qui tendent à s'imposer, par les aspects négatifs ou les négations, et de réunir les uns et les autres au sein d'un système.

j. Contradictions et opérations

Enfin, le troisième niveau de contradictions est celui qui surgit lorsque le sujet a construit les structures opératoires. Les contradictions logiques, telles que les exprime la formalisation logique ($p. \neg p$, etc., notamment pour régler normativement la pensée au moyen du principe de non-contradiction) peuvent être vues comme le point d'aboutissement et de dépassement des contradictions inhérentes à la pensée « naturelle » en ses premières étapes.

L'auteur observe d'ailleurs que les défauts rencontrés dans les premières étapes du développement cognitif peuvent se retrouver dans le fonctionnement de la pensée scientifique. Des contradictions peuvent surgir là où il y a utilisation de notions encore mal différenciées. En ces cas on retrouverait alors aussi le primat des caractères positifs des concepts par opposition aux aspects négatifs (à la délimitation des classes complémentaires, des négations partielles, ou des incompatibilités). Par exemple, un savant peut devoir, en un domaine nouveau pour lui, « déterminer en quoi et sur quel point les données imprévues relèvent de non-a alors que la propriété positive a paraît s'imposer » (p. 177).

En définitive, on voit que cet ouvrage apporte une double contribution à notre compréhension du développement cognitif et des structures opératoires. Premièrement, par la description et la classification de la multiplicité des contradictions inhérentes à l'action et à la pensée préopératoire, mais aussi des processus variés de compensation et de dépassement des contradictions, il met en lumière ce que recouvreraient d'an-



ciennes notions, telles que celle de « synthèse créatrice » que l'on pouvait trouver chez les théoriciens de l'évolution cognitive. Bien des mystères subsistent, mais les descriptions et les conceptualisations déployées par Piaget à propos des conduites et des jugements des enfants nous font incontestablement mieux connaître la richesse et la complexité de fonctionnement de leurs actions et de leur pensée. Deuxièmement, l'auteur a tout aussi incontestablement apporté un élément important à la compréhension du développement cognitif en découvrant le primat constant apporté aux aspects positifs des actions ou des conceptualisations dans les périodes de déséquilibre de la pensée enfantine et, marginalement, de la pensée scientifique.

Pour terminer, signalons encore un trait qui confirme l'unité des recherches réalisées lors des années 70 : Piaget met un point final à cet ouvrage en notant que les compensations et les constructions liées à l'abstraction réfléchissante, qui permettent le dépassement des contradictions, feront les unes et les autres « l'objet d'études séparées à paraître en des ouvrages ultérieurs » (p. 178). Faut-il conclure de ces dernières lignes que leur auteur envisageait non seulement de conduire une recherche sur l'abstraction réfléchissante, mais aussi une autre sur les compensations (ou les régulations) ? Sinon, laquelle des dernières publications correspond-elle à un exposé sur les compensations ? Il y a là une énigme qu'il serait intéressant de clarifier.











4. Recherches sur l'abstraction réfléchissante

Avant-propos

L'exposé, en deux volumes, des recherches sur l'abstraction réfléchissante est précédé d'un bref avant-propos composé d'un rappel historique sur l'origine de ce concept, d'une série de définitions qui sont également des thèses centrales du constructivisme piagétien, et enfin de la présentation du plan de l'ouvrage.

Piaget commence par rappeler que, dès son Introduction à l'épistémologie génétique de 1950, il proposait de distinguer l'abstraction réfléchissante de la simple abstraction physique ou empirique. Dans l'abstraction empirique, le sujet différencie une qualité particulière d'un objet, par exemple sa couleur, qui s'impose « de l'extérieur » à lui. L'abstraction réfléchissante s'en distingue sur deux points essentiels. D'une part, ce sur quoi elle porte n'est pas une qualité particulière d'un objet extérieur (la couleur de ce fruit que je perçois), ni même une qualité particulière d'une action matérielle du sujet (par exemple sa vitesse d'exécution) ; ce sont les propriétés formelles générales des coordinations des actions du sujet. D'autre part, contrairement à l'abstraction empirique, qui n'ajoute rien à la propriété distinguée par elle (la couleur du fruit), l'abstraction réfléchissante est constructive en ce sens que, pour représenter les caractéristiques générales et formelles de ces coordinations, le sujet doit construire sur un nouveau plan plus abstrait une forme qui, comme les enquêtes psychogénétiques et historiques le montrent, est plus riche que celle de départ.

Il ne fait aucun doute que la distinction que Piaget a été amené à proposer résulte non seulement des faits suggérés par les anciens travaux de psychologie génétique (la double découverte d'une logique de l'action sensori-motrice et d'une logique des opérations concrètes qui partagent certaines caractéristiques formelles, comme l'associativité, etc.), mais également de sa recherche d'une explication de l'origine des connaissances logico-mathématiques, qui dépasse les limitations de l'innéisme et de l'empirisme. Cependant, aussi séduisante soit-elle, cette distinction ne va pas sans soulever un certain nombre de questions.

Premièrement, certains faits déjà reconnus montrent que le sujet peut prendre connaissance d'une propriété logico-mathématique non pas en l'abstrayant à partir de ses coordinations d'actions, mais en lisant la propriété en question dans ce que lui livre la réalité extérieure. Il est ainsi possible de prendre connaissance d'une propriété telle que la commutativité de l'addition en découvrant que le résultat d'une addition de deux collections d'objets est le même, quel que soit l'ordre utilisé pour cette action. En ce cas, on a affaire à une forme intermédiaire d'abstraction, que



Piaget qualifie de « pseudo-empirique », dans la mesure où elle partage avec l'abstraction empirique le fait de porter sur des objets matériels, mais où, par ailleurs, les propriétés concernées sont introduites dans la réalité extérieure par les actions mêmes du sujet. On notera aussi que cette forme intermédiaire n'aboutit qu'à une connaissance empirique, et non pas déductive ou rationnelle, de la propriété logico-mathématique reconnue dans un tel contexte ⁴⁰.

Deuxièmement, l'abstraction empirique n'est pas elle-même sans lien avec l'abstraction réfléchissante en ce sens que, pour la réaliser, il faut construire ou avoir construit une forme d'assimilation de la propriété empirique alors en jeu. En d'autres termes, et pour reprendre l'exemple d'une propriété telle que la couleur d'un objet, sa différenciation par rapport à l'inépuisable diversité du contenu d'expérience exige la construction d'une famille de notions regroupées entre elles par des liens logiques, ainsi que la réunion logique des objets se partageant la propriété en question (appartenance à une même sous-classe).

Troisièmement, et enfin, même si Piaget n'en parle pas dans son avant-propos, on ne saurait passer sous silence le problème particulier que posent les connaissances géométriques à cette distinction entre abstraction réfléchissante et abstraction empirique, dans la mesure où la réalité extérieure n'est pas dépourvue de propriétés physico-géométriques (ce que reflète le fait qu'il existe une géométrie physique, alors qu'il n'existe pas d'arithmétique physique).

Les recherches sur l'abstraction réfléchissante devraient dès lors apporter des éclaircissements tant sur le détail des mécanismes de cette abstraction que sur ses relations avec l'abstraction empirique. Elles devraient aussi apporter des précisions quant à la troisième question, dans la mesure où elles se subdivisent en trois grandes parties : une première portant sur les constructions arithmétiques et logiques élémentaires, une seconde sur les structures d'ordre et une troisième sur les constructions spatiales. Les deux dernières parties sont traitées dans le second volume.

Avant de résumer ces trois sections ainsi que les conclusions générales de l'ouvrage, formulons encore deux remarques générales touchant ces recherches et concernant, l'une, le statut de l'abstraction réfléchissante, et l'autre, le concept de sujet engagé dans le constructivisme génétique.

Dans l'Introduction à l'épistémologie génétique, l'abstraction réfléchissante apparaissait avant tout comme une notion théorique, certes suggérée par certains faits, permettant d'expliquer l'origine des connaissances logico-mathématiques. Avec les recherches qui lui sont consacrées, elle change partiellement de statut puisqu'elle devient objet d'enquêtes et qu'elle tend à être identifiée à des activités bien concrètes.

⁴⁰ Lors d'une communication orale, G. Cellérier suggérait de distinguer deux formes d'abstraction pseudo-empirique. Dans une première forme, cette abstraction tire son information de l'ordre introduit par le sujet dans la réalité extérieure ; dans une seconde forme, elle tire cette information des régularités découvertes dans l'enchaînement des symboles ou des formules mathématiques.



tes d'enfants confrontés à des problèmes cognitifs particuliers. L'abstraction réfléchissante étant dès lors conçue comme une activité du sujet, la question se pose alors de savoir comment la relier au mécanisme très général d'abstraction réfléchissante conçu comme explication de la construction de nouvelles formes et notions logico-mathématiques. Cette question se pose d'autant plus que, comme on le verra, l'auteur distingue différents niveaux d'abstractions réfléchissantes dans les réponses des enfants, niveaux qui, de plus, ne sont pas sans lien avec les stades du développement des opérations logico-mathématiques. Faut-il alors admettre que c'est la construction de la pensée opératoire qui permet les progrès de l'abstraction, ou l'inverse ? Une solution possible consisterait à concevoir une causalité circulaire entre ces deux champs d'activités cognitives. En d'autres termes, l'abstraction réfléchissante recourrait aux opérations (ou aux préopérations) pour construire des opérations de forme supérieure. Les conclusions du troisième chapitre de ces recherches confortent une telle interprétation dans la mesure où elles font ressortir comment l'activité d'abstraction réfléchissante accomplie par le sujet met en œuvre le même type d'instruments cognitifs utilisés pour connaître les objets extérieurs (ou les propriétés matérielles de l'action propre) : classer, sérier, etc.

Quant au problème de la nature du sujet dont il est question dans le constructivisme génétique, certains passages montrent qu'elle est double, épistémologique et psychologique. Sur le plan épistémologique, la thèse soutenue est celle selon laquelle, les formes logico-mathématiques ont leur origine dans les formes générales des actions d'un sujet épistémique qui, d'un point de vue exclusivement théorique, transcende les barrières individuelles. Mais dans les faits, et comme cela a été mentionné ci-dessus, l'abstraction réfléchissante se produit par le biais d'activités bien concrètes de sujets psychologiques confrontés à des tâches variées. Cette dialectique du sujet épistémique et du sujet psychologique, qui deviendra encore plus claire dans la suite des travaux du CIEG, permet d'introduire la dimension de l'intersubjectivité au sein même du processus d'abstraction ; en effet, comme on le verra, l'ordre introduit par le sujet épistémique dans la réalité extérieure peut en partie être introduit par une personne possiblement autre que celle en train de construire de nouvelles formes cognitives avec l'aide d'abstractions pseudo-empiriques⁴¹. Le fait que, comme le montreront ultérieurement les recherches sur l'évolution des correspondances et des morphismes, le sujet peut s'appuyer sur cette évolution pour construire les opérations logico-mathématiques renforce cette sorte de rééquilibration des apports respectifs du sujet et de son milieu dans l'explication de la genèse des structures et des connaissances logico-mathématiques, sans pour autant que la thèse du primat du sujet ne soit abandonnée.

Enfin, soulignons encore d'emblée deux passages de l'avant-propos qui renforcent cette sorte de « psychologisation » de la notion d'abstraction réfléchissante par rapport au rôle plus purement épistémologique qu'elle jouait en 1950. Premièrement, Piaget affirme que l'abstraction réfléchissante porte sur les activités cognitives du

⁴¹ C'est bien pourquoi Piaget accordera à l'école un rôle nullement négligeable dans l'acquisition des opérations multiplicatives chez les enfants (voir à ce sujet la note 97 du résumé de Morphismes et catégories).



sujet (dont les coordinations d'actions) pour, entre autres, « les utiliser à d'autres fins ». L'abstraction réfléchissante apparaît ici comme un instrument dans les activités finalisées du sujet. Deuxièmement, l'auteur soutient que ce mécanisme intervient dès la construction de l'intelligence sensori-motrice. Ailleurs, et notamment dans Le comportement moteur de l'évolution, il étendra plus loin encore la portée de ce mécanisme sous une forme alors généralisée, puisqu'il n'hésitera pas à suspecter la présence d'un processus similaire expliquant la genèse des grands « plans d'organisation » du vivant.

Première partie (in vol. I) : L'abstraction logico-arithmétique ou algébrique

Chapitre I : Abstractions, différenciations et intégrations dans l'utilisation d'opérations arithmétiques élémentaires (avec A. Szeminska)

a. Introduction

La situation de recherche est la suivante. Etant donné deux ensembles de plots de couleur différente, mais pouvant être ou non d'égale longueur, l'expérimentateur et l'enfant construisent chacun un mur en puisant soit dans un des ensembles soit dans l'autre. Plusieurs questions sont posées. Les trois premières sont reliées à celles, classiques, de conservation du nombre ou de conservation des longueurs. En l'occurrence, il s'agit de juger de l'égalité ou non du nombre de plots que l'enfant et l'expérimentateur extraient un à un et simultanément de deux collections en vue de construire chacun un mur, puis de juger si les deux murs seront de même longueur. Les situations les plus intéressantes dans ce contexte font intervenir des plots qui peuvent être de longueur différente. Dans l'une d'entre elles par exemple, les sujets devront essayer de prévoir où parviendra la construction d'un second mur si on utilise une série de plots plus petits (ou plus grands) que ceux utilisés pour un premier mur dont la construction est déjà achevée (à supposer que l'on ait pris « le même nombre de plots »). Si chaque plot de la nouvelle construction est une fois, ou deux fois ou n fois plus grand (ou plus petit) que chacun des plots du mur achevé, quelle sera la différence finale ? Ou encore, après avoir construit une partie de chacun des deux murs avec des plots de grandeur différente (des grands pour l'un des deux et des petits pour l'autre), l'expérimentateur demande au sujet s'il est possible de continuer de manière à ce que les deux murs soient égaux (et aient le même nombre de plots), ou alors de juger comment la différence varie si, à partir d'un certain moment, on prend des plots de longueur égale après avoir commencé avec des plots de longueur inégale.

b. Les résultats : stade I

A un premier niveau IA, les seuls résultats corrects concernent les situations dans lesquelles les deux ensembles de départ contiennent des plots d'égale longueur. Pour



certaines enfants, les deux murs ont le même nombre de plots parce qu'ils ont la même longueur. Piaget voit là une confirmation de « la règle selon laquelle l'abstraction porte d'abord sur le résultat des actions avant de se centrer sur celles-ci » (p. 11).

D'autres enfants utilisent l'argument de la bijection pour justifier leur affirmation sur l'égalité des murs qui seront construits au moyen des plots déjà saisis dans les deux collections, mais ils ne savent pas, au cas où l'action se poursuivrait, s'il y aura toujours la même chose (ou si les deux murs seront toujours de longueur égale) : « il faut constater », disent-ils. Pour Piaget, cela signifie que « l'abstraction réfléchissante de la bijection demeure incomplète et ne fonctionne qu'en s'appuyant sur une nécessaire abstraction pseudo-empirique » (p. 12).

Un peu plus loin, l'auteur affirme que même « la coordination si primitive d'actions constituant la bijection (et dont on trouve des racines dès le niveau sensori-moteur) donne lieu à une abstraction réfléchissante si faible que la prise de conscience du résultat de ces actions l'emporte encore sur celle du processus comme tel et que [pour telle ou telle question il y a échec en raison de la] nécessité d'appuyer le réfléchissement sur une abstraction pseudo-empirique » (p. 14).

Dès le niveau IB par contre, c'est-à-dire vers 6 ans environ, l'abstraction réfléchissante à partir des actions de bijection est suffisamment ferme pour imposer l'idée que les murs continueront à être égaux si l'enfant et l'adulte poursuivent simultanément la construction. Mais la différenciation et la coordination entre nombre et longueur ne sont pourtant pas achevées : les enfants échouent à prévoir opératoirement ce qui se passe lorsque les cubes des deux lignes sont de grandeur différente. Il y a seulement une anticipation empirique des effets de l'utilisation de plots de longueur différente, et l'abstraction reste essentiellement pseudo-empirique, dans la mesure où elle porte sur les résultats constatés des actions plus que sur les coordinations d'actions.

c. Stade II

Au niveau IIA (entre 7 et 9 ans environ), et en ce qui concerne les situations dans lesquelles des plots de différentes longueurs sont utilisés, les enfants anticipent opératoirement les écarts, mais seulement au moyen d'opérations additives. De plus, si le sujet réussit à anticiper correctement les points d'arrivée des murs lorsqu'il s'agit de plots qui ont été effectivement saisis par bijection, il échoue lorsqu'il n'y a pas de saisie préalable et qu'on lui demande seulement de tracer une ligne sous une autre dessinée par l'expérimentateur, ces deux lignes étant supposées représenter le résultat d'actions restant toutes virtuelles.

Il vaut la peine de citer ici in extenso deux paragraphes dans lesquels Piaget présente de manière détaillée deux paliers d'abstraction réfléchissante (le second caractéristique d'une abstraction réfléchie, ou « réflexion sur des réflexions particulières ») :

De façon générale, que le sujet procède par correspondances visuelles entre chaque bleu et la différence témoin $b - r$, ou en touchant chaque bleu et en comptant le nombre de rouges qui lui correspondent ou encore en comptant (2 et 2 et 2, etc., ou 3 et 3 et 3, etc.), la solution est trouvée par un processus additif revenant à $B - R = (b - r) + (b - r) + \dots$. Or, il y a là un progrès considérable par rapport au niveau IB, quoique procédant par abstraction réfléchissante à partir de l'abstraction de la



différence de longueur $r - b$ pour deux unités numériques ($1b$ et $1r$) qui caractérisait le niveau précédent. En effet, ce qui est nouveau est de retrouver la même différence ou la même relation pour chaque couple b et r , ce qui comporte l'abstraction d'une équivalence, donc d'une sorte de corrélat ; r_2 est à b_2 comme r_1 est à b_1 , etc. (voir le chapitre III où les corrélats débutent aussi à ce niveau IIA). En ce cas le fait de reconnaître l'existence de plusieurs relations équivalentes conduit à les réunir en extension et cette addition des différences constitue une quantification.

Mais il est alors très remarquable de constater que si N n'est pas connu, donc si l'on procède dans l'abstrait, sans les plots (sauf les deux témoins $b > r$) le sujet en revient aux solutions du stade I, donc $B - R =$ une seule différence ($b - r$) ou même $B = R$ parce que les N sont les mêmes [...]. C'est que, pour résoudre cette question 5 il faut faire usage d'une forme supérieure d'abstraction : une abstraction réfléchie ou réflexive procédant par réflexion sur les réflexions particulières. En fait, elle reviendrait à réunir les additions en une addition d'additions, c'est-à-dire en une multiplication $B - R = N(b - r)$ ou même en une proportion $B/R = b/r$, et tout cela dépasse ce niveau IIA (p. 18-19).

De plus, les sujets de ce niveau échouent lorsqu'il s'agit de prévoir ce qui va se passer si l'on poursuit le mouvement de construction des deux murs, que ce soit au moyen de deux ensembles de plots avec conservation des différences entre les unités de chacune des deux séries (ce qui conservera le rapport entre les deux murs dans leur totalité), ou que ce soit au moyen de deux ensembles de plots tous égaux, ce qui conserve la différence absolue de longueur entre les deux murs, mais non plus le rapport entre leur longueur). Pour réussir opératoirement ces deux nouveaux problèmes, il faudra une nouvelle abstraction réfléchissante « qui se traduirait numériquement par les proportions $R_2/B_2 = R_1/B_1$ ou $(R_1 + R_2)/R_1 = (B_1 + B_2)/B_1$; or, les proportions en tant qu'abstractions de deuxième puissance n'apparaissent qu'à des niveaux ultérieurs » (p. 20).

Toujours à propos de ce niveau, le commentaire que fait Piaget par rapport à l'échec des sujets de répondre à ces deux problèmes (six et sept), ou encore à une question (huit) apparemment plus simple où on leur demande d'égaliser les deux murs en mettant des plus grands plots au plus petit mur, alors que l'expérimentateur met des plus petits au plus grand mur, ou l'inverse, est à la fois un peu difficile à saisir, et pourtant important :

Ce défaut de compensations est d'autant plus frappant qu'à la question 7 un certain nombre de sujets admettent qu'en ajoutant sans cesse des éléments de valeur 1 aux deux murs, ceux-ci finiront par s'égaliser. Mais dès qu'interviennent les différences ($b > r$ ou $b < r$) ou que, à la question 7, le sujet se rappelle les différences initiales, les réponses à ces questions 6-8 témoignent d'un oubli systématique du cadre concret qui leur a servi à résoudre la question 4 [anticiper au moyen d'opérations additives où arrivera le deuxième mur de n plots de longueur de 2 cm, par exemple, après que le premier mur de n plots de longueur de 1 cm a été construit]. Ils se lancent alors dans des généralisations arbitraires et abusives dont le caractère principal est d'être indifférenciées, c'est-à-dire de ne plus se fonder sur les abstractions pseudo-empiriques ou réfléchies qui conviendraient en chaque cas, avec ou sans permanence de la relation métrique fondamentale $b = nr$ (ou, en 8, $r = nb$), où n varie de 1 à 5. A cet égard et psychologiquement, l'abstraction constitue une différenciation, même si, sans porter sur des différences



données entre les objets ou prescrites entre les modes de composition, elle se borne à détacher une relation en réalité déjà utilisée, mais pour en faire par « réfléchissement » un nouvel objet de pensée : c'est à cette condition que deviennent alors possibles les « réflexions » sur les réflexions antérieures comme le supposent la construction des proportions, etc., et les généralisations adéquates, autrement dit les intégrations équilibrant les différenciations (p. 20-21).

Au niveau IIB (soit vers 9-10 ans), les enfants parviennent à résoudre la quatrième question, c'est-à-dire à anticiper jusqu'où ira le grand mur (ou le petit mur), au moyen d'opérations multiplicatives et non plus seulement additives. Mais si le rapport multiplicatif $b = nr$ et $B = nR$ tend à supplanter les procédures additives, c'est à condition de porter sur des actions et des éléments concrets et non pas sur leur seule représentation. Par contre, lorsque le sujet doit anticiper un nouveau prolongement des deux murs, soit que des blocs de même différence soient repris (avec conservation du rapport de longueur entre les deux murs), ou alors que des blocs égaux le soient (avec conservation de la différence de longueur des deux murs), les difficultés subsistent.

En termes symboliques, alors que les enfants de ce niveau conçoivent opératoirement le rapport B/R (comme égal au rapport b/r), ils ne parviennent pas à intégrer $B1 + B2$ et $R1 + R2$ dans deux nouvelles totalités $B3$ et $R3$ dont le rapport est toujours égal à b/r ! En ce cas en effet, « il devient nécessaire de procéder à deux sortes d'abstractions et de les comparer en une abstraction de rang supérieur, ce qui, au point de vue des opérations, revient sans doute à s'appuyer sur des proportions au moins implicites, dépassant ainsi les corrélats qualitatifs du niveau IIA et même les rapports simples compris en IIB pour la question 4 » (p. 23)⁴².

De même pour les septième et huitième questions, il y a échec parce qu'au fond les enfants n'ont pas généralisé le rapport n , un manque de généralisation « dû lui-même à une insuffisance d'abstraction réfléchie de ce rapport de base » (p. 24)⁴³.

d. Stade III (à partir de 11-12 ans)

Cet âge est celui des débuts de la pensée formelle, donc « des abstractions sur les abstractions ou de la réflexion à la énième puissance ». En un premier sous-stade IIIA, les enfants réussissent la sixième question, pas la septième, et ils tâtonnent pour la huitième question. Il faut ainsi attendre le stade IIIB pour que le sujet voie immédiatement (sans tâtonnement) cette solution qui saute aux yeux : il faut prendre les nombres comme avant, dix grands et dix petits, mais en utilisant les petits plots pour le grand mur et les grands pour le petit mur !

⁴² Vu la profondeur, mais aussi le caractère quelque peu lacunaire, des analyses effectuées ici par Piaget et dont les passages cités donnent un aperçu, on peut regretter l'absence de toute modélisation clarificatrice des activités d'abstraction et de généralisation des sujets (notamment au moyen de simulations informatiques).



e. Conclusions

Cette conclusion de trois pages est très synthétique. L'auteur décrit une nouvelle fois les différentes abstractions, généralisations, différenciations et intégrations réalisées par les sujets pour passer du premier stade au troisième. Il résume le tout dans les termes suivants :

[...] toute cette évolution est dirigée par une loi d'équilibration entre les différenciations et les intégrations. Les premières résultent du processus de « réfléchissement » propre aux abstractions réfléchissantes, qui dégage d'un niveau inférieur certaines liaisons, employées implicitement ou simplement impliquées mais non remarquées, pour les transformer en objets de pensée au niveau ultérieur. Les secondes résultent alors de la « réflexion » ou réorganisation nécessaire, sur le nouveau plan, du système ainsi enrichi par l'introduction de ces objets de pensée non considérés jusque-là. Cette « réflexion », second aspect de l'abstraction réfléchissante est alors nécessairement généralisatrice du fait qu'elle porte sur une totalité plus large. Ce ne sont donc pas seulement les rapports indissociables de l'abstraction et de la généralisation qui déterminent les deux pôles du processus d'équilibration, mais plus généralement ceux de la différenciation et de l'intégration. Quant à cette dernière, elle implique une action du système total sur les sous-systèmes et ne se réduit donc pas sans plus à un équilibre ou assimilation réciproque entre les sous-systèmes : en effet, l'intégration en un tout conduit à la formation de lois générales de composition pouvant différer de celles des sous-systèmes et les résultats qui précèdent montrent assez les difficultés que doit surmonter le sujet pour en arriver à la constitution de telles totalités cohérentes (pp. 29-30).

Ce passage illustre bien la façon dont les analyses théoriques de Piaget se rattachent à son nouveau modèle de l'équilibration majorante (Piaget, 1975).

Enfin, notons qu'il est aussi question de « pseudo-généralisation » dans ce chapitre, ce qui est vraisemblablement un indice que, lorsque Piaget rédige son ouvrage sur l'abstraction réfléchissante, il est déjà en train de travailler sur les recherches sur la généralisation.

Chapitre II : La construction de commun multiple (avec J.-L. Kaufmann et J.-F. Bourquin)

a. Introduction

Alors que la multiplication logique s'acquiert parallèlement et simultanément à celle de l'addition logique, Piaget note que « la compréhension de la multiplication numérique est bien moins aisée que celle de l'addition » (p. 31). De multiples recherches

⁴³ On notera ici comment un défaut de généralisation est expliqué par une abstraction réfléchie insuffisante.



sur les proportions, la linéarité, etc., ont en effet « montré la tendance très générale des jeunes sujets à substituer (et ordinairement à tort) des compositions additives aux rapports multiplicatifs, faute de comprendre le sens de ces derniers (et tout en sachant réciter par cœur les expressions verbales correspondantes) » (id.).

Les trois problèmes choisis pour étudier les difficultés d'abstraction réfléchissante propres à la multiplication arithmétique sont les suivants. On demande tout d'abord aux enfants de construire deux ensembles numériquement égaux de jetons, le premier en prenant deux à deux des jetons, le deuxième en les prenant trois à trois. Le deuxième problème est similaire au précédent, sauf qu'il s'agit de construire deux tours de même hauteur au moyen, pour l'une, de plots d'une certaine grandeur, et pour l'autre, de plots d'une grandeur différente (rapport 2/3). Enfin, le troisième problème porte sur deux roues dentées dont l'une fait sept tours pendant que l'autre en fait cinq. Deux repères se touchent au départ et appartenant chacun à l'un des roues, on demande s'ils se rencontreront de nouveau et quand, et si cela se répétera de manière régulière ou fortuite par la suite.

b. Stade IA et IB

Au stade IA (5-6 ans environ), les enfants se centrent sur les résultats, et lorsque dans les deux premiers problèmes ils parviennent à l'égalité visée, ils ne font que constater la réussite sans comprendre comment cela a pu marcher.

Au stade IB, ils prennent conscience du nombre de fois qu'ils ont pris deux grands et trois petits, mais au coup par coup, parce que l'expérimentateur les aide (par exemple, en leur parlant du nombre de voyage : « là 2 et là 3 » voyages), et sans généralisation. Il n'est encore nullement question de multiplication.

c. Stade IIA (7-8 ans)

Les enfants prévoient que les égalités seront possibles. Ils y parviennent toutefois par tâtonnement, et non pas par anticipation opératoire (par « programmation », écrit alors Piaget, qui montre ainsi qu'il est influencé par les travaux de simulation informatique de l'intelligence). Un enfant de 9 ans, qui a obtenu par tâtonnement l'égalité de deux tas, pourra dire alors : « j'ai fait 2 paquets de 3 et là 3 paquets de 2 ». Ce niveau correspond donc aussi à un « début de prise de conscience, mais encore incomplète du nombre des opérations correspondant à ' n fois x ' où n est le nombre de fois que le sujet prend x éléments et où x est dans le cas particulier fixé par la règle ' 2A ou 3B à la fois ' » (p. 37 ; avec toutefois d'abord une « indifférence initiale pour le nombre x »). Les sujets de ce stade découvrent aussi la relation inverse entre la valeur du multiplicateur et du multiplicande en cas d'égalité des produits (si $x \times 9 < x$, alors $n \times 9 > n$).



d. Stade IIB (9-10 ans) et stade III

Le problème des deux tas est résolu d'emblée. Celui de la construction des tours l'est avec un peu de retard. Quant au problème des engrenages, il y a « constance attribuée au rapport numérique trouvé empiriquement » (p. 38). Au niveau III (dès 11 ans environ), les deux premiers problèmes sont résolus d'emblée, sans aucun tâtonnement ; la relation numérique découverte dans le problème des engrenages est comprise en tant qu'elle donne lieu à un « début d'explication cinématique » (p. 39).

e. Comparaison entre les problèmes

Les expérimentateurs ont demandé aux enfants quelles analogies ils voyaient entre les problèmes. Au stade I, des analogies sont établies entre les propriétés des objets (couleur ou grandeur des jetons, des plots, etc.). Au stade IIA, « l'accent est mis sur l'action, mais avant tout comme but et comme récit de ce qui a été fait » (p. 40). Les « comparaisons demeurent fonctionnelles et n'atteignent pas les correspondances structurales [...] Ce sont au contraire ces correspondances que recherchent les abstractions réfléchies du niveau IIB » (id.). Exemple d'une réponse d'un enfant de 8 ans H : « Il y a toujours une chose plus grande et une plus petite et il faut toujours plus de petits pour faire des grands ».

On voit une nouvelle fois comment s'annoncent des recherches – en ce cas sur les correspondances, les morphismes et les catégories – réalisées au CIEG les années suivantes.

f. Conclusion

La conclusion de ce chapitre portant sur les communs multiples est très instructive ! L'auteur distingue quatre niveaux qui vont de l'addition élémentaire à la multiplication en passant par la succession d'additions, puis l'addition d'additions. Atteinte au troisième stade, la multiplication observée dans cette recherche n'est d'ailleurs pas encore réversible, reliée structurellement à la division (la multiplication opératoire n'apparaît qu'au stade formel et est reliée à l'acquisition de la proportionnalité). Elle n'en apparaît pas moins après l'acquisition de la multiplication logique (des classes ou des relations). L'analyse des réponses des enfants permet de comprendre pourquoi il en va ainsi. Dans le cas de la multiplication arithmétique il s'agit de préopérations (extensives) agissant sur des opérations (extensives) ; alors que pour la multiplication logique, seule la compréhension des qualités est en jeu.



Chapitre III : L'inversion des opérations arithmétiques (avec A. Moreau)

a. Introduction

Le problème principal posé aux enfants de 6 à 11 ans environ est le suivant : l'expérimentateur, qui tourne le dos à l'enfant, lui demande d'inscrire un nombre n sur une feuille (ou, pour les sujets les plus jeunes, de placer le nombre qu'ils veulent de jetons), puis de réaliser les opérations $+3$, $\times 2$, et $+5$ [$n9 = 2(n + 3) + 5$]. L'enfant informe l'expérimentateur de la valeur de $n9$ et l'expérimentateur demande à l'enfant s'il est possible de retrouver n , et si oui comment le faire. Il s'agit donc non seulement de retrouver l'inverse des opérations, mais aussi d'inverser leur ordre.

Deux tâches pratiques en partie similaires sont préalablement traitées chez les plus petits (ultérieurement chez les plus âgés) : construire un champignon au moyen de la superposition, dans un ordre fixé, de morceaux de bois, et construire un gros bloc au moyen de huit petits éléments interchangeables (l'ordre n'a pas d'importance). Puis l'enfant doit défaire le champignon en empilant dans l'ordre inverse les divers éléments. Cela fait, on lui demandera de comparer les ordres de construction et de démolition du champignon, et de comparer ce qui distingue la construction du champignon de celle du gros cube (selon Piaget, on lui demande de réaliser une « abstraction réfléchie »). Enfin il s'agira pour le sujet de comparer les trois épreuves.

b. Stade I (6 -7 ans environ = IB)

C'est seulement au stade IB que les enfants parviennent à construire le champignon et à avoir clairement conscience de l'ordre nécessaire de construction, ainsi que de l'inversion de sens de la démolition. De même, ces enfants découvrent sans problème ce qui distingue la construction du cube de celle du champignon. Par contre, ils ne conçoivent pas comment, sur le terrain du nombre, revenir de $n9$ à n .

Le fait que l'expérimentateur retrouve n à partir de $n9$ apparaît comme une coïncidence ou comme dû au hasard à l'enfant (« Vous avez deviné »). Et même la description par l'expérimentateur de la « suite inverse des opérations inversées » ne sert à rien ! Enfin, il n'y a pour ces enfants aucun rapport entre la construction du champignon et la suite des opérations numériques.

c. Stade IIA (7-8 ans en moyenne)

Les enfants de ce niveau comprennent qu'il faut utiliser des opérations inverses, mais ils ne voient pas qu'il faut conserver l'ordre en le renversant !

Pour Piaget, le fait qu'il faille attendre 7-8 ans pour avoir à l'esprit l'inversion de chaque opération est conforme à toutes les anciennes études qui montrent l'apparition à cet âge de la réversibilité opératoire. Certes la formation scolaire joue un



rôle indéniable, nous dit-il, mais il y a un facteur plus fondamental qui concerne l'abstraction réfléchissante. Toute action est orientée vers son but, son résultat, d'où le caractère manifeste de l'action directe par rapport à son inverse. L'abstraction commence naturellement par porter sur le résultat de l'action et non pas sur son point de départ et son déroulement. Mais la seule idée qu'il faille procéder avec des opérations inverses ne suffit pas, ou plutôt elle suffirait s'il n'y avait que des additions (et des soustractions), celles-ci étant commutatives.

d. Stades IIB et III

Le sujet du niveau IIB sait que l'ordre joue un rôle nécessaire, mais il n'est pas sûr que l'ordre qu'il propose conduise de $n-1$ à n .

Au niveau III, l'enfant anticipe correctement l'ordre inverse des opérations directes elles-mêmes inversées ! Piaget évoque ici les opérations formelles et la pensée hypothético-déductive. Les raisons qu'il donne ne sont pas tout à fait convaincantes. Il ne suffit pas de suggérer que les enfants n'ont plus besoin de tester empiriquement le résultat de leurs opérations, car cela n'est pas non plus nécessaire pour les opérations concrètes ! Le fait que le sujet doive opérer sur une suite d'opérations pour réussir à résoudre le problème est plus probant. Mais on aurait souhaité que le réglage progressif de la suite des opérations soit minutieusement décrit, et même modélisé, au moyen de programmes de simulation informatique par exemple.

e. Conclusions

Le niveau IA de la construction du champignon se caractériserait par la présence d'abstractions empiriques (constatation des contacts, etc.) « subordonnées à un plan d'ensemble de sériation par superposition, qui exige une coordination des actions » (p. 56). L'utilisation de la notion de plan d'ensemble est intéressante ; elle corrobore la thèse selon laquelle Piaget est plus sensible aux actions finalisées des sujets dans ces recherches sur l'abstraction réfléchissante qu'il ne l'était dans celles sur la psychogénèse des notions.

Les premières abstractions réfléchissantes apparaissent au niveau IB, les sujets tirant alors la notion d'ordre à partir des coordinations d'actions du niveau IA. A cette étape pourtant, ces abstractions sont facilitées par l'abstraction pseudo-empirique de l'ordre introduit entre les parties du champignon, « ce qui est bien plus aisé que de prendre conscience des étapes successives et des exigences de ce processus en tant que tel » (id.). Par ailleurs les enfants de niveau IB ne voient pas de ressemblance entre les opérations de construire et de défaire le champignon, c'est-à-dire entre une action directe et son inverse. C'est que, comme le note l'auteur, psychologiquement ce sont des actions « qualitativement différentes ». C'est au niveau IIA que les sujets parviennent à relier les opérations directes et inverses, en dépit de leur direction contraire et grâce à leur symétrie. Il s'agirait alors d'une « abstraction réfléchie



de second degré, ou réflexion sur les réflexions » précédentes, de forme pseudo-empirique ou non (p. 57).

La même abstraction de niveau IIA permet aussi aux enfants de reconnaître la similitude de formes ou de « relations structurales » (p. 59) entre les activités de construction du champignon et celles de la construction du gros cube. Elle permet enfin aux sujets de ce niveau de prévoir l'existence d'une suite inverse d'opérations arithmétiques permettant de retrouver n à partir de $n9$, mais sans qu'ils puissent déduire la suite correcte. Il y a là, note l'auteur, non seulement une simple constatation, mais également « une inférence fondée sur une raison conçue comme nécessaire » (id.).

On trouve une nouvelle fois dans cet ouvrage l'évocation du thème des raisons. L'enfant sait qu'une opération directe peut être annulée par son inverse, et en déduit que l'on peut revenir au point de départ. Ces opérations sont conçues comme « identiques ou solidaires », seule leur direction les distinguant. Cette conscience qu'à l'enfant de la solidarité entre les opérations directes et leurs inverses conduit Piaget à conclure que l'abstraction en jeu n'est pas seulement une abstraction réfléchissante (inversant les opérations de n à $n9$ pour retrouver n), mais aussi une abstraction réfléchie « portant sur la comparaison de ces opérations de directions contraires sous leur forme générale » (p. 60). Notons que l'analyse proposée manque là aussi un peu de clarté, même si l'on comprend à peu près où l'auteur veut en venir. Tout cela tend pourtant à se clarifier si l'on a en vue le fait que la rédaction de l'ouvrage sur l'abstraction réfléchissante se déroule à peu près parallèlement à la mise en place des recherches sur les correspondances et les morphismes.

Au niveau IIB, une abstraction pseudo-empirique nouvelle permettrait aux enfants d'inclure l'inverse de la multiplication dans la série aboutissant au nombre n que l'expérimentateur indique après l'avoir déduit mentalement de $n9$. Là encore l'analyse manque un peu de précision. Certes l'enfant n'est pas sûr, et ne propose d'inclure la division qu'après la juste réponse de l'expérimentateur ; mais où est l'abstraction pseudo-empirique ? En tout cas pas dans la perception actuelle d'une série d'actions... Mais peut-être peut-on évoquer les constats pseudo-empiriques réalisés ailleurs, à l'école par exemple, reliant la multiplication, la division, et leur distribution dans une suite d'opérations. A moins que l'abstraction pseudo-empirique consiste simplement ici à constater que l'expérimentateur est parvenu à retrouver le nombre initial, ce qui, selon Piaget, suffirait à permettre aux sujets de reconstruire correctement la série des opérations par lesquelles l'expérimentateur a retrouvé ce nombre.

Au niveau III par contre, c'est-à-dire au niveau de la pensée hypothético-déductive, les sujets n'ont plus besoin de constat pseudo-empirique pour reconstruire correctement la série d'opérations. Ils parviennent aussi à fournir une « explication claire, par la pensée réflexive, des traits communs et des différences entre les deux types de structure » (p. 61) propres, l'une à la construction du champignon et à la résolution du problème numérique, l'autre à la construction du cube.

Piaget termine ce chapitre en soulignant combien sont variées les formes d'abstractions et combien « l'abstraction réfléchissante évolue sans cesse, ainsi que ses sous-variétés pseudo-empiriques et réfléchies » (id.). Nous n'en doutons certes plus, mais peut-être l'auteur aurait-il pu saisir là l'opportunité de mieux clarifier ces concepts et surtout de mieux cerner l'intervention de ces différentes formes dans les conduites examinées dans cette recherche.



Chapitre IV : Abstraction et généralisation lors de transferts d'unités (avec P. Moessinger)

a. Introduction

La question principale posée aux enfants dans ce chapitre est celle du déplacement du milieu d'une série de jetons lorsqu'on insère 2 (ou 4, ou 6, etc.) jetons au début ou à la fin d'une ligne de jetons (ou le problème inverse). Un problème similaire est celui des votations : combien de personnes doivent-elles changer leur vote pour que la majorité bascule (de $2/3$ à $3/2$, de $3/4$ à $4/3$, etc.) ? Enfin le troisième problème est une version simplifiée du jeu de Nim. Dans cette recherche, il ne s'agit pas seulement d'étudier les différents niveaux de résolution de ces problèmes, mais aussi d'examiner dans quelle mesure les enfants parviennent à généraliser leurs solutions (par exemple le passage du décalage du milieu pour un ajout de deux à un ajout de quatre, etc. ; ou encore, toujours au sujet du premier problème, la généralisation de la solution lorsqu'on allonge la rangée de jetons). Du point de vue théorique, Piaget examine le lien entre les progrès de l'abstraction réfléchissante et ceux de la généralisation. Il distingue différentes formes de généralisation (en anticipant ainsi sur les études consacrées explicitement à la généralisation) et traite aussi la question de la nécessité.

b. Exposé des résultats et conclusions

L'exposé des résultats et des conclusions de ce chapitre porte essentiellement sur les niveaux de généralisations, qui seraient parallèles aux niveaux d'abstraction réfléchissante. A l'abstraction pseudo-empirique correspondrait ainsi au stade IB (vers 6 ans) une généralisation également dite pseudo-empirique. Dans le cas le plus simple de l'ajout répété de deux jetons, le sujet découvre peu à peu qu'il faut chaque fois déplacer l'allumette d'un rang pour qu'elle reste au milieu. Mais il n'est pas certain que la loi observée marchera toujours dans la suite, et on n'observe aucune généralisation de la loi pour des ajouts de n jetons, avec n variables.

Au stade IIA par contre, le sujet découvre immédiatement la loi pour le cas d'un ajout de deux jetons. En d'autres termes, il constate que le changement du nombre total de jetons dans la série ne change rien par rapport au déplacement du milieu lorsque l'on ajoute un nombre pair de jetons au début de la rangée ; le milieu se déplacera de 1 pour un ajout de 2, quel que soit le nombre total de jetons dans la série. A un début d'abstraction réfléchissante portant non plus seulement sur les résultats constatés, mais sur l'action même d'ajouter, avec les effets qu'elle produit, correspond une première généralisation opératoire. Mais le sujet ne peut cependant pas encore expliquer la raison de la loi. Il découvre aussi par tâtonnement ce qui se passe pour n plus grand que 2. Au niveau IIB par contre, la nécessité exprimée s'accompagne d'une compréhension complète de la généralité de la loi.

Citons ici quelques lignes quelque peu énigmatiques dans lesquelles Piaget analyse le passage de la généralisation pseudo-empirique (et inductive) de niveau IB à la première forme de généralisation opératoire, qui correspond aussi au début d'une abstraction réfléchissante n'employant plus seulement la voie pseudo-empirique :



[Au niveau IB les propriétés lues] sur l'objet (le résultat d'un allongement de 2 et d'un déplacement de l'allumette de 1 en tant que conservant tous deux la position de celle-ci au milieu de la nouvelle rangée) constituent le produit des actions du sujet (ou des deux sujets)⁴⁴, et quoique semblable au début de l'abstraction empirique, celle qui conduit à la généralisation I reste donc « pseudo-empirique ». Or, cela se traduit rapidement par des caractères nouveaux : le fait que l'action dont les résultats sont constatés empiriquement (ou pseudo-empiriquement) est liée à un but [l'équivalence des nombres des deux côtés de l'allumette], entraîne un jeu d'assimilations réciproques entre le but atteint (milieu) et les moyens employés (le rapport 1 à 2) et il y a là davantage qu'une constatation et qu'une généralisation inductive de ce qui a été constaté : c'est un début de coordination dont la généralisation comporte une ébauche d'abstraction réfléchissante, donc de mise en « acte » de ce qui était en « puissance » dans l'abstraction pseudo-empirique. Or, la construction de ce nouveau schème d'assimilation a beau ne comporter qu'un progrès minime dans le savoir du sujet, puisqu'il est encore très loin de comprendre la raison pour laquelle cette correspondance de 2 à 1 conserve la position médiane de l'allumette, ce progrès est cependant notable en ce que la coordination des moyens employés et du résultat obtenu (dont le sujet n'a plus besoin de le vérifier pour 2 et 1), donne déjà à l'enfant l'impression qu'il doit y avoir une raison. [...] Seulement ne pouvoir la dégager tient aux lacunes des « abstractions réfléchies » et la conviction qu'elle existe semble assurée chez ces sujets intermédiaires [...] : ce serait alors ce fait essentiel propre à la construction des structures logico-mathématiques qui explique la formation de cette « quasi-nécessité » qui s'ajoute aux généralisations encore presque inductives des débuts et qui procéderait donc des premières manifestations de l'abstraction réfléchissante (p. 76).

En dépit du caractère un peu obscur de ce passage, nous l'avons cité assez longuement dans la mesure où il montre le caractère finalisé de l'abstraction réfléchissante : le sujet va chercher dans son action propre le moyen d'atteindre un but, et c'est alors qu'il est conduit à en dégager les caractéristiques logico-mathématiques. On notera aussi une nouvelle fois comment le thème des raisons apparaît en filigrane dès les recherches sur l'abstraction réfléchissante.

Quant à la généralisation de deuxième type (découvrir ce qui se passe avec le milieu lorsqu'on ajoute, non pas 2, mais 4 ou 6 ou... à l'une des deux extrémités de la rangée des jetons), l'abstraction réfléchissante y est plus marquée et elle se traduit par une extension du schème de 1 pour 2 à 2 pour 4, etc. Une nouvelle abstraction permettra ensuite aux enfants de niveau IIA de réussir aussi bien dans le sens 2 pour 1, 4 pour 2, etc., que dans le sens 1 pour 2, etc. (l'enfant généralise le fait que si on déplace par exemple de 2 l'allumette du milieu, il faut ajouter 4 allumettes à la rangée totale pour que cette allumette du milieu le reste). Cette nouvelle abstraction suppose la coordination des soustractions avec les additions. Dans ce cas en effet (contrairement au premier où il n'y a pas d'action de soustraction) :

On commence par déplacer l'allumette de n , ce qui revient pour les deux moitiés initiales A et B, à additionner $A + n$ mais également à soustraire $B - n$, la différence

⁴⁴ Cette mention des actions de deux sujets est intéressante. Elle suggère que Piaget est peut-être réceptif à l'idée d'une forme intersubjective d'abstraction réfléchissante (par l'intermédiaire, il est vrai, de l'abstraction pseudo-empirique).



étant donc de $2n$ et non pas de n : d'où la tendance initiale à n'allonger la série que de n et la difficulté de comprendre le rapport du simple au double, comme dans le problème bien connu du transfert d'une collection à une autre (p. 70).

C'est alors que les sujets comprendraient la raison du partage en deux antérieurement réalisé dans leur résolution du problème, résolution à partir de laquelle ils réalisaient des abstractions pseudo-empiriques ou des débuts d'abstractions réfléchissantes. C'est cette compréhension (de la notion de moitié), liée à l'achèvement et à la fermeture de la structure logico-mathématique, qui rendrait compte de la constitution de la nécessité. Deux traits sont caractéristiques de cette fermeture : le partage immédiat en deux du nombre de jetons ajoutés, et le doublement également compris du décalage donné du milieu pour obtenir le nombre de jetons à ajouter.

Les conclusions de Piaget montrent ainsi comment l'étude des mécanismes de construction auxquels il s'attache dans les années 70 n'implique nullement l'abandon de la problématique des structures opératoires.

Chapitre V : Problèmes d'inclusions et d'implications (avec D. Voelin et I. Berthoud)

a. Introduction

L'auteur commence par préciser en quoi la structure qui sous-tend l'implication propositionnelle est plus complexe du point de vue des négations que celle qui sous-tend l'inclusion des classes (pour une classe A incluse dans une classe B, l'enfant n'a pas à comparer l'extension des A9 à celle des B9, alors que dans le cas d'une proposition p impliquant une proposition q , la négation de p est compatible avec non- q aussi bien qu'avec q). Il indique ensuite que le problème qui sera traité dans ce chapitre est celui du passage de l'inclusion à l'implication, ou plus précisément du processus d'abstraction réfléchissante qui expliquerait ce passage. Mais c'est pour remarquer aussitôt que l'abstraction réfléchissante qui conduit de l'inclusion à l'implication ne peut être observée.

Il y a bien sûr ici un problème puisque les chapitres précédents, de même que les suivants, ne manqueront pas de présenter des observations portant sur le processus d'abstraction réfléchissante. On aurait donc pu souhaiter que Piaget développe un peu plus sa pensée ici. Quoi qu'il en soit de ce point de méthode, l'auteur ajoute ensuite que si l'abstraction réfléchissante ne peut être directement accessible, l'abstraction réfléchie, elle, le peut. En ce cas il s'agit en effet de la façon dont les sujets reconstituent après coup les « raisonnements qu'ils ont faits pour résoudre les problèmes posés » (p. 82).

En ce qui concerne le problème posé, il est le suivant. Après avoir interrogé l'enfant sur la question classique de l'inclusion (y a-t-il plus de marguerites ou plus de fleurs dans un bouquet présenté au sujet), on le met en présence de cartes sur lesquelles sont dessinées des figures de grandeurs, de couleurs et de formes variées. Le sujet aura à répondre à des questions du type : « si toutes les grandes formes sont rondes, que peut-on dire des carrés ? ». D'autres questions d'implication mettent en jeu des pièces d'horlogerie qui, selon les conditions, peuvent être de bonne ou de mauvaise



qualité (exemple de prémisse : « toutes les montres fabriquées le lundi sont de mauvaise qualité »).

b. Stade I

Les enfants échouent en général au problème de l'inclusion, sauf lorsqu'il s'agit de comparer la quantité des formes vertes (elles le sont toutes) à la quantité des carrés verts.

Ce problème est plus simple que celui de l'inclusion des fleurs parce que la propriété verte est directement perceptible (alors que le concept logique de fleurs nécessite l'emploi d'opérations de négation, p. 86).

c. Stades II et III

Au stade IIA, le problème de l'inclusion (des fleurs) est résolu, mais pas celui de l'implication logique. Celle-ci est toujours identifiée à l'équivalence (de ce que « les montres fabriquées le lundi sont mauvaises », le sujet conclut que « toutes les montres mauvaises sont fabriquées le lundi »).

Pourquoi faut-il attendre le stade III pour que le problème de l'implication soit correctement résolu ? Premièrement, parce que, comme pour l'inclusion logique, « pour conclure que p (proposition affirmant A) implique q (affirmant B) sans que $p \cdot q$ entraîne $q \cdot p$, donc sans qu'on ait $p = q$ ou $A = B$, il est nécessaire de construire une sous-classe A9 et de la caractériser explicitement par une négation partielle ($A9 = \text{les } B \text{ non-}A$, donc les montres mauvaises non fabriquées le lundi [...]) » (p. 88). Et deuxièmement, parce que, si pour l'inclusion logique : « l'existence de la sous-classe A9 est imposée par la présence d'objets donnés perceptivement (les roses, qui sont des fleurs différentes des marguerites), [...] dans le cas [du problème d'implication], la sous-classe A9 doit être construite inférentiellement par une analyse suffisante de la donnée (simplement propositionnelle et non pas perceptive) $p \cdot q$ (donc ' toutes les montres du lundi sont mauvaises '). Il s'y ajoute que la négation partielle ($A9 = \text{les } B \text{ non-}A$) doit être dégagée elle aussi déductivement » (p. 89). La suite, qui prolonge plus loin l'analyse de ce qui fait défaut à l'enfant du niveau II pour résoudre le problème de l'inclusion (entre autres la loi de dualité de Morgan), illustre à merveille comment, dès qu'il s'agit de logique opératoire, l'auteur conserve la clarté et la profondeur d'analyse de ses anciennes recherches sur la genèse des structures de l'intelligence.

Une fois cette analyse structurale rappelée, Piaget formule à nouveau le problème devenu central, celui de comprendre comment l'abstraction réfléchissante conduit de l'inclusion à l'implication, étant une nouvelle fois entendu, dans ce chapitre du moins, que l'examen des niveaux IIB et III « ne suffira pas à résoudre le problème mais est cependant utile à fournir pour montrer l'existence d'étapes intermédiaires » (p. 90). Dans les deux pages qui suivent, il décrit simplement des réponses de niveau IIB (avec hésitation quant au sens de l'implication), et des réponses de niveau III, où les enfants distinguent sans plus de problèmes l'implication de l'équivalence



logique. Il termine cette description en soutenant que c'est « à propos des utilisations d'indices et de l'abstraction 'réfléchie' que nous verrons le mieux les progrès » (p. 91).

d. L'utilisation d'indices

Cette section porte sur les implications précoces dont font preuve les enfants du stade I (vers 6-7 ans) à des problèmes de reconnaissance d'objets, étant donné tel ou tel indice perçu (par exemple, l'enfant ayant vu et reconnu préalablement différentes collections d'objets tous verts : des grands et des petits carrés, ainsi que des petits ronds, on lui demande ensuite ce que la carte dont il perçoit une face sur laquelle est dessiné l'indice 'petit' contient sur l'autre face, alors invisible).

Ces problèmes sont résolus précocement, dans la mesure où ils ne sont jamais posés en termes d'extension et de négation et que « le sujet peut raisonner par connexion de pure compréhension » :

« grand » signifie « carré », « rond », signifie « petit », « petit » signifie « rond ou carré », etc., sans que l'on ait besoin de préciser l'« extension » de ces notions significées ou signifiantes, donc de les quantifier, la seule question quantitative étant de savoir si un indice notionnel correspond à un seul ensemble de figures ou à deux ou à trois. Quant aux négations implicites (rond = non-carré, etc.), elles sont traitées par l'enfant en tant que relations de simples « différences », comme dans les « logiques sans négations » de Griss ou de Nelson. Il est vrai qu'à elle seule une différence qualitative présuppose une négation, mais de façon implicite et, pour la conscience du sujet, elle s'exprime en termes de seules affirmations : carré « ou » rond, le foncteur disjonctif « ou » signifiant donc une « autre » affirmation et non pas encore la négation de l'un des termes relativement à cet « autre » (p. 95).

On a très visiblement affaire ici à une anticipation des recherches sur la logique des significations, et en particulier sur l'implication signifiance, dont Piaget rappelle qu'il en était déjà question dans d'anciennes recherches (il s'agit bien sûr des études sur la naissance de l'intelligence sensori-motrice, les implications en jeu étant alors, pour l'auteur, non pas des « données premières », mais le résultat de l'activité assimilatrice⁴⁵).

Mais en quoi tout cela concerne-t-il l'abstraction réfléchissante ? Piaget note que les implications en compréhension ajoutent une couche supplémentaire par rapport à la thèse selon laquelle l'implication extensionnelle pourrait être le résultat d'une abstraction réfléchissante portant sur les coordinations propres à l'inclusion de classe. La quantification des implications signifiantes serait la source des inclusions logiques. Puis une coordination encore plus poussée des implications signifiantes, cette fois liées à l'inclusion de classe, multiplierait les arrangements possibles des réalités logiques considérées, ce qui à terme déboucherait sur les structures d'ensemble de parties, le dépassement du concret et la construction des implications propositionnelles.

En définitive les faits constatés chez les enfants de 6-7 ans conforteraient l'hypothèse selon laquelle l'apparition plus tardive de l'inclusion logique, puis de l'implication



propositionnelle s'expliquerait par la quantité plus ou moins grande « d'indices à coordonner » (p. 98) pour réussir à maîtriser les activités logiques en jeu. L'auteur n'était-il pas plus précis lorsqu'il affirmait, quelques pages avant, que ce qui est en jeu dans le dépassement dans les trois cas (implication signifiante, inclusion logique et implication propositionnelle), ce sont des objets de pensée plus ou moins abstraits, et notamment le traitement plus ou moins complet des extensions et les négations ? Il est vrai qu'il termine cette section en remarquant que, dans une situation où il est question d'oiseaux et d'avions, tous ailés, mais dont seuls les avions feraient un bruit imité par l'expérimentateur, on verrait « les sujets du stade I traduire déjà ces données [élémentaires] en termes d'inclusions et de négations partielles » (p. 98), comme l'illustrent les affirmations : « ils ont tous des ailes », ou « c'est un avion, ils font [un bruit] comme ça et pas les oiseaux ». Le problème laissé au lecteur est de concilier cette affirmation avec une précédente, dans laquelle il opposait les capacités proprement opératoires de traiter les extensions et les négations, à celles, plus précoces, de juger en compréhension et par la seule considération des différences, qui ne seraient pas encore des négations. On peut en tout cas admettre que, même s'il est question du « tous » chez les enfants du stade I, ce « tous » n'implique pas encore qu'ils savent comparer les extensions de classes non disjointes ; et par négation partielle, on peut entendre le fait qu'ils ne conçoivent pas les A9 comme étant les B non-A, mais simplement comme étant différents des A.

En définitive, si cette section offre l'intérêt d'affiner les anciennes analyses sur le développement de la logique opératoire, on voit un peu moins ce qu'elle apporte par rapport au problème de l'abstraction réfléchissante, puisque, contrairement aux chapitres antérieurs, Piaget ne décrit aucune activité de ce type.

e. Les abstractions réfléchies

Etudier les abstractions réfléchies revient ici à demander aux enfants des différents niveaux de juger ce qu'il y a de semblable et de différent entre les différents problèmes qu'on lui pose ; ou encore, étant donné un problème, d'essayer d'en construire un équivalent au moyen d'une des autres situations expérimentales (liées à l'étude des implications signifiantes réussies au stade I, aux inclusions logiques réussies au stade II, ou enfin aux implications propositionnelles du stade III). Cette étude des abstractions réfléchies, dont on va voir qu'elles passent par les mêmes trois stades, éclairerait les processus d'abstraction réfléchissante, qui eux ne seraient pas directement observables.

Au premier niveau, les sujets ne font qu'affirmer l'existence de propriétés qualitatives communes entre les différentes situations-problèmes auxquelles on les confronte (la même couleur, etc.). On retrouve ici « la considération exclusive des qualités en compréhension, sans quantification et de ce point de vue sans atteindre la structure des questions posées » (p. 100). Mais Piaget prend soin d'ajouter que cette dernière capacité est liée à la prise de conscience (ou l'abstraction réfléchie) : « les actions



effectives des sujets aux prises avec un problème sont en avance par rapport à la prise de conscience ».

Des sujets de niveau intermédiaire cherchent au contraire à découvrir des correspondances qualitatives entre les ensembles d'objets comparés (les formes géométriques grandes et petites d'un côté, les fleurs de l'autre). Au deuxième niveau (vers 6-7 ans, donc probablement le niveau IB) par contre, il y a recherche de correspondances « visant cette fois la quantification » (p. 100 ; par exemple dire : là il y a deux roses, et là deux grands carrés verts, ces correspondances restant toutefois encore prénumériques, car basées sur des constats visuels)⁴⁶. Ceci correspond aux enfants qui, dans le problème de l'inclusion, parviennent à comparer les extensions des sous-classes de marguerites et de roses entre elles, mais pas encore à utiliser l'inclusion logique. Ce seraient ainsi « les correspondances terme à terme (avec conservation de la qualité, mais non pas encore de la quantité) qui assureraient le passage des correspondances qualitatives aux débuts de l'extension » (p. 102 ; il s'agit là d'une observation qui aurait pu être faite dans le contexte où les enfants sont directement interrogés sur le problème de l'inclusion, et où on les interpellait dans le fil de leur action pour leur demander comment ils ont fait, et non pas dans ce nouveau contexte « transépreuves » dans lequel est étudiée l'abstraction réfléchie⁴⁷).

Au niveau IIB des abstractions réfléchies, qui apparaît après que les enfants réussissent le problème de l'inclusion, les sujets prennent conscience que « dans les questions d'utilisation d'indices, la relation entre une information globale X et les choix particuliers a, b ou c (donc X alors on peut avoir ou a ou b ou c) équivaut à la relation d'inclusion entre un tout B et les sous-classes primaires ou secondaires A et A9 » (p. 102). Ils ne peuvent cependant pas encore dégager la même structure abstraite des problèmes, ce qu'ils parviendront à faire au stade III (donc dès qu'ils arrivent à résoudre le problème de l'implication propositionnelle, c'est-à-dire à ne pas réduire celle-ci à l'équivalence). A ce troisième et dernier stade, le sujet réfléchit les résultats des prises de conscience de niveau IIA et IIB, et il y a dès lors « possibilité d'une métaréflexion, autrement dit d'une réflexion sur les produits déjà réfléchis (au sens de la prise de conscience des niveaux IIA et IIB) des abstractions réfléchissantes en tant que processus » (p. 104).

f. Conclusions

Pour Piaget, la première étape des connexions établies par le sujet se caractérise par la seule présence d'implications significatives qui restent liées à la compréhension logique (ou « intension »), sans considération des extensions et des quantités. Les

⁴⁵ On peut se demander ici si Piaget ne sous-estime pas le rôle constitutif de l'implication significative dans l'intelligence sensori-motrice ; certes les significations reliées résultent chacune d'une assimilation aux schèmes en jeu ; mais le lien alors tissé entre ces significations pourrait bien résulter de l'activité implicatrice (ou d'une autre activité de connexion logique entre significations, par exemple la conjonction significative), au moins à un certain niveau de construction de l'intelligence sensori-motrice.

Signalons par ailleurs que, dans les années où Piaget et ses collaborateurs du CIEG poursuivaient des recherches dans lesquelles s'esquissait la question d'une protologie des significations, J.-B. Grize et son équipe du Centre d'étude de logique et de sémiologie de Neuchâtel engageaient de leur côté des recherches touchant à des questions voisines. A posteriori, on peut regretter que des liens autres qu'occasionnels n'aient pas été établis entre les deux institutions.



négligations, en tant que construites par le sujet et non pas conséquence de processus extérieurs, sont également encore absentes.

Par ailleurs, cette étape paraît dominée par l'abstraction empirique, quand bien même celle-ci exige toujours des cadres instrumentaux résultant eux-mêmes d'abstractions réfléchissantes. Par exemple, si le constat selon lequel un objet est vert implique un classement des objets selon leur couleur, la propriété « verte » existait dans cet objet sans que le sujet ne l'y introduise, et cela contrairement à une relation telle que « le tout est plus grand que la partie [qui] s'impose en raison de la logique interne du cadre instrumental (devenu opératoire) » (p. 105). De même, le lien d'implication entre une qualité d'un objet et une autre relève de l'abstraction empirique : cygne implique blanc, jusqu'à la découverte empirique d'un cygne noir.

Comment l'enfant va-t-il accéder « aux structures d'inclusion avec quantification du tout et élaboration de classes complémentaires ou secondaires » ? Deux solutions s'offrent ici : soit le sujet injecterait à ses anciennes solutions des éléments venant du dehors, soit il construirait ces nouvelles structures en utilisant celles qu'il a précédemment acquises, et en les réorganisant et les enrichissant par recombinaison. Les réponses des enfants aux questions sur les cartes montreraient qu'ils partent effectivement des rapports établis en compréhension, qu'ils traduiraient peu à peu en termes d'extension (sans encore de quantification) : « ils sont tous verts », « ce peut être ça ou ça », etc. Des rapports d'emboîtement sont implicitement contenus dans ces expressions. Dans le problème d'inclusion, il ne s'agira toutefois pas seulement d'exprimer des extensions, mais de les comparer. Le passage des rapports en compréhension, ou des correspondances qualitatives, à la mise en rapport des extensions va se faire alors par l'intermédiaire d'une « correspondance figurale ou optique, terme à terme, donc une correspondance prénumérique (sans conservation) portant sur les objets individuels comme tels, ce qui permet l'évaluation quantitative (en plus, égal ou moins) de leurs réunions en tant qu'extension des classes », mais de classes restant alors disjointes (pp. 108-109).

Pour aller plus loin, pour comprendre que la relation d'inclusion met en présence des classes et des sous-classes « il faut pousser l'analyse jusqu'à un degré d'abstraction consciente (donc réfléchi en plus de réfléchissant) permettant de distinguer les diverses questions et relations » (p. 109). Ce passage est évidemment important ; il montre comment la considération des extensions se passe sur le plan de la pensée réfléchi, du moins lorsqu'il s'agit de comparer des extensions de classes non disjointes. C'est alors que le sujet conçoit les classes comme produites par les opérations d'addition et de soustraction et se conservant à travers ces opérations. Le sujet comprend aussi une sous-classe comme la négation partielle de sa complémentaire, alors que le primat fonctionnel de l'affirmation poussait au contraire les sujets du stade précédent à conserver le tout en l'identifiant à la sous-classe A9 complémentaire de A. Et Piaget d'affirmer alors que « la condition la plus importante du réglage des extensions et de la constitution de l'inclusion est que ce qui était conçu comme simples différences entre les qualités des objets en compréhension, soit promu au rang de négations compensant exactement les caractères positifs des objets et des classes » (pp. 109-110).

⁴⁶ Notons à nouveau comment cette étude sur les abstractions porte parfois sur des objets qui relèvent plus directement des recherches sur les correspondances et les morphismes, que Piaget est peut-être déjà en train de conduire par ailleurs



On voit ici ce qui distingue ces nouveaux travaux sur l'inclusion des recherches de la période classique. Il est certes encore question d'opération ; mais l'importance attribuée aux négations revient à mettre au premier plan, ou au moins sur un plan d'égalité, les activités de pensée en tant que portant sur des significations. On est ici très proche des travaux sur la dialectique et la logique des significations sur lesquels s'achèvera l'œuvre piagétienne. Notons pourtant que ce n'est pas cette importance des significations qui est soulignée ici, mais le fait que la considération, par le sujet, des négations et des affirmations soit elle aussi tirée par abstraction réfléchissante et réfléchie des rapports de différences qualitatives propres au premier stade.

La dernière partie des conclusions traite du passage de l'inclusion à l'implication propositionnelle. Certaines formes sont déjà contenues sur le plan de la pensée concrète (ou des opérations concrètes). Là encore il va y avoir un travail de réfléchissement sur le plan hypothético-déductif, ainsi qu'une généralisation liée à une « réflexion réorganisatrice » (p. 111). Cette abstraction fera par exemple passer le sujet de la quantification des classes aux quantificateurs propositionnels : le « tous », le « quelques », etc., en tant qu'appliqués à des énoncés verbaux, et non plus directement à des collections d'objets. Outre le changement de plan par passage à l'hypothético-déductif, le passage de la quantification des extensions aux quantificateurs propositionnels et le caractère de plus en plus métaréflexif de l'abstraction (portant sur des produits de réflexions antérieures), qui aboutit par exemple à considérer l'ensemble des parties, il y a tout un nouveau travail de « refonte et de généralisation des négations » (p. 111) qui fait que « la négation de $p \cdot q$ sous $p \cdot q$ est $p \supset q$ v $p \supset q$ et non pas seulement $p \supset q$ » (p. 112).

Les éléments sont bien contenus dans les opérations concrètes, mais les constructions qui en sont tirées par abstraction réfléchissante sont constitutives de nouvelles structures. Si Piaget considère que la notion d'abstraction réfléchissante est moins vague que celle, plus ancienne, de synthèse ou de combinaison nouvelle, il admet que les chercheurs ne sont pas encore parvenus à en fournir un « modèle détaillé »⁴⁸. Il y a tout de même des acquis par rapport aux anciennes notions, notamment la façon dont réfléchissement et réflexion interviennent dans le processus, ainsi que la nature des généralisations mises en évidence par ces recherches. Ici l'auteur anticipe sur les travaux sur la généralisation en distinguant à côté de la généralisation empirique, qui correspond à l'abstraction de même nom, la sorte de généralisation enrichie que manifestent les nouvelles structures construites à partir des anciennes. Pour reconstruire les anciennes formes sur un nouveau palier, il faut des formes plus riches que les précédentes, mais aussi plus générales, en un sens qui sera précisé ultérieurement.

Piaget conclut ce long chapitre en affirmant « [qu'au] total les opérations nouvelles dont la construction est provoquée par l'abstraction réfléchissante ne sont pas le

⁴⁷ Cette remarque entre parenthèses se rapproche pourtant de la thèse de Piaget : pour s'assurer de l'hypothèse que peut faire l'expérimentateur face à l'enfant qui, par exemple, met en correspondance les roses et les marguerites, alors qu'on l'interroge sur les fleurs et les marguerites, le psychologue peut demander à l'enfant de thématiser la méthode qu'il vient d'employer pour répondre à sa question ; en ce sens, il est vrai que l'abstraction réfléchissante très réelle que l'enfant emploie peut-être pour élaborer sa réponse n'est pas directement observable, au contraire de la thématisation qu'on lui demande.



produit d'un appel à l'extérieur, mais constituent en chaque cas le prolongement de ce qui est abstrait du niveau antérieur » (p. 114).

Chapitre VI : La formation des corrélats (avec J. Montangero et J.-B. Billeter)

a. Problème et résultats

Le problème posé aux enfants est de mettre ensemble des objets qui vont bien ensemble (ces objets ont été soigneusement choisis pour que les enfants construisent à peu près tous des couples d'objets), puis de mettre ensemble les couples qui vont bien ensemble (par exemple chien et poils, avec oiseau et plumes).

Au niveau IA, les enfants constituent très librement des couples en rapprochant des paires d'objets ; il suffit qu'une activité finalisée les relie. Au niveau IB, une finalité en arrivant à prédominer, les couples sont plus réguliers. Mais lorsqu'on leur demande de les rassembler, ils utilisent à nouveau d'autres finalités, au gré de leurs associations d'idées. Les liaisons établies sont subjectives, « sans appui sur des cadres classificateurs stables, donc sur une activité du sujet épistémique avec ses capacités d'abstraction réfléchissante » (p. 119)⁴⁹. Si les enfants de niveau IB parviennent parfois à construire un couple de couples (oiseau-plumes et chien-poils), ils justifieront ce rapprochement par une liaison finaliste arbitraire (le chien mange l'oiseau).

Au niveau IIA (7-8 ans), il y a classification simple sans achèvement des quantifications (l'achèvement se situant au stade IIB, vers 9-11 ans). Pour le problème en question, il y a d'abord établissement de relations de relations, mais par tâtonnement et « sans exclusion nette des contre-exemples » (p. 120). Le fait de construire de premières classes simples permet aux enfants de niveau IIA de relier plus objectivement, et donc plus durablement, les objets rangés ensemble (exemple : chien-poils et oiseau-plumes sont rapprochés par le fait que les chiens et les oiseaux sont des animaux, et que poils et plumes sont des choses d'animaux). Comme cela a été montré dans le chapitre précédent, cette capacité de classer est due au fait que les enfants prennent en considération les extensions et ne s'en tiennent plus seulement à la compréhension (des prédicats). Il y a « assimilation des objets entre eux et non plus seulement de chacun à un schème d'action » (p. 123), d'où la considération de l'extension que ces objets forment⁵⁰.

Au niveau IIB il y a encore des tâtonnements pour atteindre les corrélats, mais une fois construits, ceux-ci restent tout à fait stables et résistent aux contre-suggestions. Au niveau III les corrélats sont atteints sans problème, et les sujets peuvent même en imaginer de nouveaux (avec des objets absents).



b. Conclusions

Piaget note que des sortes d'équivalents fonctionnels des corrélats sont déjà présents au sensori-moteur (le sujet qui a appris à tirer un objet se trouvant sur un tapis, et dont le schème correspondant interviendra dans la solution trouvée au problème de tirer un objet abouté à une ficelle, la seconde situation étant alors assimilée à la première). Mais le sujet est alors « agi par ses schèmes ». Les corrélats ne seront dès lors pas tirés directement de ces sortes d'équivalents fonctionnels ; toute une longue reconstruction sera nécessaire, comme le montrent les faits du stade IA et IB, où dominent les liaisons subjectives peu stables. Encore une fois, c'est l'assimilation des objets entre eux qui, conduisant à la considération des extensions, aboutira à des classes d'abord simples, puis opératoires assurant la stabilité des rangements de rangements (des corrélats).

Piaget termine en précisant que les corrélats ne sont pas encore des proportions :

Quant au passage des corrélats aux proportions, nous avons jadis constaté avec B. Inhelder que la constitution de toute proportion métrique (dans les divers problèmes abordés) était précédée par son élaboration qualitative, donc par la compréhension du corrélat correspondant, avant l'introduction des mesures. La seule différence d'avec des corrélats quelconques est qu'ils portent en ce cas sur des covariations, ce qui permet alors un jeu de compensations et l'égalité des produits croisés, comme l'un de nous l'a montré jadis pour ce qu'il a appelé les « proportions logiques » (p. 129 ; l'auteur fait référence à l'ouvrage qu'il a publié avec Inhelder sur la logique de l'enfant et la logique de l'adolescent, ainsi qu'à son Essai sur les transformations des opérations logiques).

Chapitre VII : Des formes concrètes du groupe de Klein au groupe INRC (avec A. Munari)

a. Introduction

Comme il existe des groupes de quaternarité élémentaires acquis avec la pensée concrète, le problème est de comprendre comment se fait leur passage à ce groupe, plus abstrait, de quaternarité qu'est l'INRC, structure constituée d'opérations portant sur des opérations (alors que les groupes de Klein élémentaires portent sur des termes concrets, résultats d'une opération, par exemple la composition entre deux couples de propositions : AB et AB⁹ sur le terrain logique, ou entre deux rotations sur le terrain géométrique). Sans entrer dans le détail, rappelons seulement qu'une telle structure se manifeste lorsque, par exemple, le sujet est capable d'utiliser et de composer des opérations, leur négation, leur réciproque et leur corrélatrice, les produits de ces compositions étant eux-mêmes des opérations du système opératoire au sein duquel cette structure agit (ou qui « obéit » aux lois du groupe INRC).

⁴⁸ C'est peut-être un appel du pied à des modélisations informatiques que Piaget a ici en vue. Il admet les lacunes qui subsistent ; mais il a raison de souligner que, grâce à ces recherches sur l'abstraction réfléchissante, on en sait tout de même plus qu'avant quant aux constructions du sujet (que ce soit comme résultat ou comme processus).



b. La recherche

La tâche pour les enfants est de transférer des paquets de briques d'un camion sur un autre, trois situations étant telles que l'avant et l'arrière des paquets sont substitués l'un à l'autre, ou le dessus et le dessous, ou encore l'avant et l'arrière ainsi que le dessus et le dessous. L'expérimentateur montre à l'enfant un camion modèle sur lequel le paquet se trouve placé dans l'ordre qu'on lui souhaite voir une fois les opérations effectuées. Ce n'est qu'aux niveaux IIB, puis III, que les enfants arrivent à des solutions d'abord partielles (par tâtonnement), puis totalement opératoires (les sujets savent alors traiter opératoirement les compositions de deux ou trois opérations). C'est donc seulement lorsque les opérations géométriques peuvent être prises en charge par la pensée propositionnelle que les enfants réussissent sans problème cette tâche. Pourtant, au niveau concret déjà, le sujet apprend à manipuler les (quatre) associations de base, à les réunir par deux ou par trois, « ce qui équivaut à la constitution des opérations propositionnelles. Il suffit alors d'une généralisation de cette combinatoire naissante pour dominer (mais, répétons-le, dans le détail des raisonnements particuliers et non pas sous une forme réflexive) l'ensemble des parties' et parvenir ainsi au groupe INRC » (p. 141).

Une deuxième partie de la recherche a porté sur trois tâches, résolues au stade II, où les enfants doivent imaginer quelles actions doivent être réalisées par ou avec des objets ou des animaux pour que tel ou tel état soit atteint. Il faut attendre le niveau III pour que les sujets sachent dégager les similitudes et les différences des structures d'actions propres à chaque tâche. Piaget conclut dès lors dans les termes suivants ce chapitre assez court (et qui clôt le premier volume) :

Il est surprenant que la réversibilité, dont la formation a certes été laborieuse au cours des stades préopératoires mais dont l'utilisation devient générale en presque tous les domaines à partir du niveau IIA de 7-8 ans, ne donne ainsi lieu à une abstraction réfléchie qu'au stade III qui est celui des « réflexions sur les réflexions ». Dans le cas des rotations de la section I de ce chapitre, ce n'est qu'à ce stade III que se constituent d'emblée les compositions entre couples [...], tandis qu'avec les transformations beaucoup plus simples et d'une réversibilité de type élémentaire (introduire ou enlever) qui caractérisent les présentes épreuves, ces compositions intercouples sont aisées dès le niveau IIA. Mais dans les deux cas, l'abstraction réfléchie (description détaillée des actions propres dans le cas des compositions de rotations de la section I et comparaison entre épreuves dans ce qu'on vient de voir) ne se constitue qu'au stade III. Ce qu'un tel fait suggère est alors que pour

⁴⁹ On notera ici avec intérêt cette évocation de l'activité du sujet épistémique, évocation qui montre qu'aux yeux de Piaget, le sujet épistémique intervient bien dans l'activité du sujet tout court. D'un autre côté, on peut juger curieux le lien établi ici entre « cadres classificateurs stables » et « abstraction réfléchissante », puisque celle-ci est le mécanisme par lequel le sujet construit des systèmes cognitifs de plus en plus riches et stables.

⁵⁰ On a ici, par cette évocation de la notion d'assimilation des objets entre eux, un très bon indice de l'appui que prend Piaget dans ses anciens travaux sur l'intelligence sensori-motrice, autant fonctionnalistes que structuralistes, pour étudier les activités de construction cognitive chez les enfants résolvant des problèmes sur le plan de la pensée concrète.



parvenir au groupe INRC (en son utilisation et non pas naturellement en tant que représentation réflexive de cette structure) le sujet a besoin d'abstractions réfléchies pour distinguer les diverses compositions en jeu dans les « ensembles de parties » et notamment pour différencier les situations d'inversion N et de réciprocité R : d'où sa formation tardive au stade III seulement.

Ce passage est intéressant dans la mesure où il suggère comment la fermeture opératoire constitutive du groupe INRC est le fruit d'une abstraction réfléchie, c'est-à-dire d'une description détaillée, de ce qui devient alors ses composantes. Mais on peut se demander s'il n'en va pas au moins partiellement de même au niveau antérieur des structures opératoires concrètes. L'enfant qui change la forme d'un objet sait que cet objet conserve sa quantité de matière (ou de poids, ou de volume) parce que ce qui a été ajouté à un endroit a été enlevé ailleurs. Pour répondre à ce genre de questions, il faudrait disposer de définitions plus précises que celles adoptées dans cet ouvrage, ainsi que de modélisations des comportements d'abstractions en jeu aux différents niveaux.

Deuxième partie (in vol. II) : L'abstraction de l'ordre

Avant-propos

Les relations d'ordre ont très tôt été conçues comme le produit de l'abstraction réfléchi-chissante. Dès le niveau le plus élémentaire, « le schème de l'ordre ne s'acquiert pas par la simple inspection des suites ordonnées, car pour constater l'existence d'un ordre, il faut d'abord que les actions du sujet requises par cette lecture (suivre des yeux, ou du doigt, etc.) soient elles-mêmes ordonnées » (p. 157). On relèvera le caractère très kantien de l'argument adopté ici par Piaget : le sujet ne peut percevoir un ordre dans l'objet que dans la mesure où il possède déjà les instruments conditionnant cette perception.

Chapitre VIII : Séries additives et exponentielles (avec T. Vergopoulo)

a. Le problème

Certains caractères étant introduits dans l'objet « par un sujet » (p. 159), il s'agit de savoir « si l'abstraction pseudo-empirique se réduit à une lecture directe » de ces caractères ou si cette capacité « est liée de façon quelconque à la capacité du sujet d'agir sur cet objet et de lui conférer par cette action les caractères en jeu » (p. 159). Il y a là un problème général que l'on pourrait poser de la manière suivante : étant donné qu'un sujet X organise une certaine réalité, cet ordre mis par le sujet X n'est-il pas la source de la notion d'ordre qu'un second sujet Y va alors acquérir en percevant cet objet ?



Ce problème peut être étudié avec des situations géométriques ; en ce cas, il est plus difficile à résoudre, dans la mesure où « il existe une géométrie du sujet et que son élaboration et son emploi peuvent conditionner l'enregistrement de certaines relations spatiales appartenant aussi à l'objet » (pp. 159-160). Par contre il serait plus facile à résoudre dans une situation dans laquelle il s'agit de comparer « deux ensembles d'éléments sériables, sous des formes, l'une A additive (baguettes de 2, 4, 6, 8, 10 cm), l'autre B exponentielle (2, 4, 8, 16, 32 cm), et de distribuer les actions en deux étapes, l'une simplement exploratoire (faire arranger à volonté les deux ensembles donnés en désordre), et l'autre plus réellement constructive (faire continuer les séries une fois mises en 'escaliers'), avec description des ressemblances et différences après chaque étape » (p. 160).

Comment interpréter cette opposition entre les situations géométriques et logico-arithmétiques face à la question de l'origine des notions en jeu ? Probablement de la façon suivante. Dans le cas de la géométrie, il y a forcément le développement d'une géométrie du sujet, puisque toute action comporte à l'évidence une dimension spatiale. Mais dans le cas de la sériation, il se pourrait que le sujet n'ait pas besoin de construire une logique du sujet, donc que l'on constate très tôt chez celui-ci une capacité d'extraire une régularité présente dans le réel (constat que l'on a peu de « chances » de faire dans le cas de l'espace, puisque le sujet développe certainement une géométrie liée à ses propres déplacements). Si l'empirisme a raison (et le constructivisme tort), il sera donc plus aisé d'en vérifier la thèse dans le cas de la logique de l'ordre que dans celui de l'espace.

b. Résultats et conclusion

Au stade I (4-6 ans environ), les sujets construisent des figures quelconques. Lorsqu'il s'agit de continuer des constructions engagées par l'expérimentateur, on retrouve des conduites constatées pour les anciens problèmes de sériation. Pour la comparaison des deux problèmes, les enfants constatent que l'un des deux fait intervenir de plus grandes baguettes. Le résultat principal tient donc dans le fait que l'abstraction pseudo-empirique, c'est-à-dire « la lecture des observables sur les cinq premiers éléments donnés initialement » est soumise au « mode [préopératoire] de construction des séries, adopté par le sujet en son action propre » (p. 162).

En passant, notons que la caractérisation donnée ici de l'abstraction pseudo-empirique met bien en évidence le caractère ambivalent de la notion de sujet utilisée par Piaget. Le sujet épistémique peut être considéré comme un sujet transindividuel (peu importe qui met de l'ordre dans le matériel en jeu), mais aussi comme un sujet interne au sujet psychologique (et qui guide la lecture que celui-ci peut faire de l'ordre mis par l'expérimentateur dans ce matériel).

Au niveau IIA (7-8 ans), le sujet saisit la différence entre A et B et « reconnaît l'existence en B d'intervalles non plus égaux comme en A mais de valeurs croissantes » (p. 162). Mais cet accroissement n'est pas encore perçu comme métrique et ne devient explicite qu'au moment où il s'agit de prolonger les séries avec de nouveaux éléments. Comme le dit un gosse qui découvre ce point au moment où il construit la suite de la série B : « Il faut toujours un plus grand espace » (p. 163). On regrettera ici que Piaget passe à la description du niveau suivant sans essayer de reconstruire le processus par lequel les enfants saisissent l'accroissement constant.



Enfin au niveau IIB et au stade III (donc dès 9-10 ans, mais avec quelques cas avancés), il y a quantification des intervalles croissants, d'abord par une voie additive, puis multiplicative. Au niveau IIB toutefois, la découverte se fait là aussi lors de la continuation des séries et non sans un certain tâtonnement. Par contre au stade III l'examen des séries existantes suffit au sujet pour que la valeur de l'accroissement soit reconnue (la différence est multipliée par deux à chaque pas).

Piaget termine par deux brèves pages de conclusion. Les deux structures (égalité des intervalles en A, etc.) « ne sont aperçues en leur différence que quand le sujet sait les construire » (p. 165). Et pourtant, précise-t-il, « cette différence est un observable comme un autre, donné dans les objets quoiqu'introduit en eux par un sujet » (id. ; la notion d'observable engagée ici montre bien en quoi ce qui est observé est, pour Piaget comme anciennement pour Kant, un phénomène et n'appartient pas à un réel en soi). Au niveau où les choses s'acquièrent, ce n'est que lorsque les sujets veulent et peuvent construire la suite qu'ils découvrent les propriétés mathématiques en question : « des relations logico-mathématiques et notamment sériales introduites en des objets n'y sont accessibles à un sujet que si c'est lui-même qui s'est chargé de l'opération ou s'il en est capable » (p. 166).

Chapitre IX : Les conditions de la lecture de séries additives complexes (avec J. Cuau et J. Cambon, section I et J.-J. Ducret, section II)

a. Lecture et continuation de séries données

Contrairement au problème traité dans le chapitre précédent, les séries dont l'enfant doit extraire l'ordre ne comportent que des relations additives entre éléments discrets.

Au premier niveau, le sujet reconnaît des régularités très simples (alternances de couleurs). Mais elles ne suffisent pas à l'enfant à se conformer au modèle (pourtant très simple lui aussi, par exemple du type : 1/1, 2/1, 3/1, etc.). Curieusement, Piaget ne dit pas clairement si ces premières reconnaissances, liées à la présence de schèmes très précoces, relèvent de l'abstraction empirique ou de l'abstraction pseudo-empirique ! Il est en effet question de la difficulté de « l'abstraction empirique ou pseudo-empirique » qui permettrait aux enfants de se conformer aux modèles, ou encore du fait qu'au niveau IB « les données fournies par l'abstraction empirique ne sont pas intégrées » (p. 171). Le moins que l'on puisse dire est que le langage utilisé ici est un peu flottant (ce qui est d'ailleurs en partie conforme à la démarche constante de l'auteur⁵¹).

Au niveau IIA (vers 7-8 ans), les enfants qui savent sérier de manière opératoire des baguettes de longueur différente parviennent à copier les modèles, mais sans continuation, puis, au niveau IIB (9-10 ans), à continuer correctement les séries modèles.

Ce qui permet aux sujets du premier stade de découvrir certaines régularités, ce sont des schèmes d'alternances simples (BJBJ) ou doubles (BBJJBJJ) « dus à des abstractions réfléchissantes tirées des coordinateurs d'identification et de répétition » (p. 174 ; l'auteur renvoie à l'ouvrage sur la fonction, EEG 23 ; mais notons qu'il sera aussi question des coordinateurs dans les Recherches sur les correspondances).



Bien sûr, cette affirmation ne repose pas sur des constatations liées aux présentes enquêtes sur l'abstraction réfléchissante. Elle découle de la thèse générale affirmée dès 1950. Son intérêt est de permettre de mesurer ce qu'apportent ces enquêtes : un étayage et un développement de la thèse, en rapport avec des conduites effectivement observées. Ce premier niveau d'abstraction réfléchissante, qui est, lui, simplement inféré à partir de la thèse générale, est suivi de deux autres. Les trois pages dans lesquelles Piaget les décrit (et résume la progression de IB à IIA, puis de IIA à IIB) font référence à des conduites constatées chez les enfants étudiés dans ce chapitre. Ici, il vaut la peine de citer presque in extenso l'auteur, qui commence par répondre à la question de savoir si le passage de IB à IIA implique une abstraction réfléchissante :

Or, comme rappelé dans l'introduction de cette partie II, le schème de l'ordre ne s'acquiert pas par la simple inspection des suites ordonnées, car, pour constater l'existence et déterminer la nature d'un ordre, il faut d'abord que les activités du sujet intervenant dans cette lecture soient elles-mêmes ordonnées. Les sujets du niveau IB parviennent déjà à donner une description verbale correcte du modèle n° 1 [...] et parviennent donc contrairement à ceux du niveau IA à ordonner leur propre activité lexicale ou oculo-verbale, mais non pas leurs actions oculo-motrices quand il s'agit de reconstruire le modèle qui reste pourtant sous leurs yeux. C'est que, contrairement aux lois de pure alternance (simple ou double), [...] il ne suffit pas pour atteindre l'ordre de la série d'en considérer un segment quelconque (puisque'ils se répètent tous tôt ou tard) : il faut replacer toute constatation dans un mouvement d'ensemble conduisant du début à la fin de la rangée. Lorsque [une fillette] (intermédiaire IIA IIB) commet encore une erreur de copie, elle dit ainsi très justement « parce que je ne regardais pas toujours le début de la série : des fois je regardais au milieu ». De plus cet ordre de parcours doit pouvoir être inversé, mais systématiquement [...], tandis que la cause des erreurs des sujets IB est évidemment qu'ils oscillent entre un sens de parcours et l'autre sans atteindre de constance dans l'orientation des coordinations.

En un mot, l'ordre général de la série atteint au niveau IIA ne peut être que le produit d'une abstraction réfléchissante, puisque la somme des abstractions empiriques localement correctes du niveau IB ne suffit pas à l'engendrer et qu'il faut encore les ordonner. La source en est alors l'ensemble des coordinations entre actions qui caractérisent les débuts du niveau opératoire IIA, avec la constitution des sériations réversibles de grandeurs, des correspondances sériales, des aspects ordinaux propres aux opérations infralogiques avant la mesure, etc.

Mais ceci nous conduit alors au second problème, plus surprenant, que soulèvent les faits [...] : si l'élaboration de l'ordre général propre aux modèles 1 et 2 est liée à celle des sériations additives accessibles dès les débuts du niveau IIA, pourquoi le modèle 2, qui donne lieu à une copie exacte, ne peut-il être prolongé avant le niveau IIB, en conservant la même loi additive (1,1 ; 1,2 ; 1,3 ; 1,4 ; etc.) ? Pourquoi cette surprise [d'un enfant de 8 ans :] « Ah ! J'y suis : c'est la loi des chiffres : chaque fois un de plus » ? Pourquoi ces commentaires bizarres [...] d'un autre enfant pour qui] « on pourrait faire une sorte d'addition », comme si $1 + 1 = 2$; $2 + 1 = 3$, etc., n'était pas le prototype de toute addition numérique ? On sait d'après



de nombreuses recherches que la continuation des séries dont il s'agit de dégager la loi est loin d'être aisée, mais ici la loi n'étant que l'addition + 1 il y a donc différence constante entre les éléments de la série comme dans la sériation additive des réglettes (sect. I). Seulement, en ce dernier cas, cette addition + 1 est perçue figurativement sous les espèces d'une « bonne forme », qui est la Gestalt d'un « escalier » régulier, tandis que dans la présente situation la collection des bleus (1B, 2B, 3B, etc.) est modifiée d'une étape à l'autre. C'est alors sans doute cette exigence de transformation, incarnée en des objets discrets et matériels, mais ordonnés et non pas simplement réunis en collections, qui donne à [ces enfants] cette impression d'allongement ou de sorte d'addition. Mais, quelle que soit la cause de ce retard des niveaux IIA à IIB, l'intérêt en est, du point de vue de l'abstraction réfléchissante, que celle-ci doit porter, non plus seulement sur l'activité ordinatrice globale, permettant la lecture de l'ordre général d'une série en tant que résultante ou permettant de la construire quand les éléments sont donnés (épreuves ordinaires de sériations ou de correspondances sériales), mais bien sûr les opérations elles-mêmes en tant que constitutives du détail des transformations demandées (pp. 174-176).

En définitive, Piaget conclut des résultats de cette recherche la présence « de trois niveaux hiérarchiques d'abstraction réfléchissante dont chacun enrichit le précédent en s'appuyant sur lui pour en tirer de quoi l'élargir » :

[...] le niveau des alternances (tiré des coordinateurs d'identification et de répétition propres à l'assimilation), celui de l'ordre total de la série (tiré de la coordination des segments de série, qu'il s'agisse d'alternances mélangées ou déjà d'additions, comme dans la copie du modèle 2 mais sans continuation), et celui des opérations constitutives (dégagement de la loi d'addition qui reste implicite au deuxième niveau). Il s'y ajoute qu'au deuxième de ces paliers le sujet devient capable, par le fait même du degré d'abstraction alors atteint, de généralisations qui consistent en morphismes par application à de nouveaux contenus, d'où une consolidation de la forme constituée, ainsi que d'une prise de conscience plus ou moins poussée des analogies entre les différentes épreuves. Ces analogies ne sont guère exprimées à ce sous-stade IIA que par les correspondances construites par le sujet, tandis qu'au dernier palier (niveau IIB), il s'y ajoute la formulation des lois utilisées, y compris celle des additions itérées (pp. 176-177).

Bien sûr tout n'est pas clair dans ces pages, et on constatera à nouveau l'emploi de la notion d'abstraction empirique là où on aurait plutôt attendu l'emploi de la notion d'abstraction pseudo-empirique... Mais ce manque de clarté et de précision n'empêche pas Piaget de donner des indications intéressantes sur les niveaux d'abstraction réfléchissante. Ce qui est en jeu dans le passage du stade IIA au stade IIB rappelle un peu l'écart opposant les enfants réussissant la sériation opératoire des baguettes lorsqu'ils disposent du matériel, et échouent lorsque l'épreuve est transposée sur le plan verbal. La réflexion commencerait à un certain niveau de se libérer de la nécessaire présence d'un support de pensée concret pour se porter sur le plan des propositions.



b. L'abstraction dans l'imitation des actions d'autrui

Ici, contrairement aux deux autres expériences précédentes, les enfants sont explicitement invités à imiter les actions de l'expérimentateur (actions par lesquelles celui-ci produit des séries ordonnées de jetons rouges ou noirs)⁵².

Au stade I (5-6 ans), même pour les actions les plus simples de l'expérimentateur (par exemple RRR/RRR/RR), les sujets agissent différemment (par exemple, RRR/RR/R/R/R pour le modèle considéré), le produit final étant alors le même en ces cas très simples (ici huit jetons rouges alignés). L'important est le résultat et non pas les actions faites pour y parvenir.

Au niveau IIA, les sujets imitent à peu près correctement les actions, sauf dans une situation où les jetons sont pris par eux et par l'expérimentateur de manière invisible (les jetons sont cachés derrière un écran). Comme ce que pose l'enfant sur la table ne correspond pas, sauf hasard, à la série réalisée par l'expérimentateur, le sujet affirme qu'il ne peut pas accomplir la tâche qu'on lui demande.

Au niveau IIB, les imitations d'actions sont exactes et réalisées même dans le cas où les séries engendrées sont différentes (parce que les jetons sont pris de manière aveugle).

Il n'était a priori pas dit que les sujets du premier stade ne parviennent pas à imiter les actions les plus simples de l'expérimentateur. Pourquoi donc les enfants de ce niveau réussissent-ils à réaliser les mêmes séries simples, mais ne peuvent-ils pas imiter la suite des actions par lesquelles l'expérimentateur a engendré sa série ? Pour l'auteur, une première cause réside dans le fait qu'il est toujours plus difficile d'observer des transformations que des états. Mais il y en a une seconde, qui rejoint les multiples observations faites lors des recherches sur la prise de conscience : le sujet prend conscience du résultat de ses actions avant de prendre conscience de leurs déroulements, « car ceux-ci impliquent la reconstitution d'un processus et celui-là une simple lecture statique » (p. 180). Il en va de même des actions de l'expérimentateur, que d'ailleurs l'enfant assimile à ses propres actions.

Piaget ne dit rien de la façon dont l'enfant de niveau II s'y prend pour reconstruire correctement la série des actions d'autrui. L'abstraction réfléchissante peut-elle s'appuyer au moins partiellement sur l'organisation des actions d'autrui ? C'est ce que semble suggérer cette remarque finale selon laquelle « au lieu de procéder directement par abstractions réfléchissantes comme c'est le cas en partie dès le niveau IIA, la phase initiale est celle d'une abstraction pseudo-empirique, s'appuyant sur les propriétés des séries résultantes, mais en tant que construites par les actions qu'il s'agirait d'imiter » (p. 181). Le passage au niveau IIA serait-il permis par une capacité plus grande de l'enfant à reconstituer les actions d'autrui (parallèle à une capacité plus grande de reconstruire ses propres actions) ? Même si c'est le cas, il n'en

⁵¹ La stratégie de Piaget n'a jamais été de proposer des définitions très claires et distinctes des notions utilisées. Cette démarche est d'ailleurs conforme au constructivisme : les notions se construisent progressivement à travers les multiples confrontations avec les faits. Mais peut-être l'auteur aurait-il pu nous avertir quelque part que l'état des connaissances n'était pas suffisamment avancé en ce qui concerne l'étude des mécanismes de constructions cognitives pour que soit déjà ici fécond l'usage d'une démarche qui s'apparenterait alors à l'abstraction réfléchie !



reste pas moins qu'il revient au sujet d'accomplir la coordination reconstruisant sur un nouveau plan l'ordonnement des actions. Cette coordination supérieure est faite d'opérations reliant ou réunissant de différentes manières les contenus de l'expérience. Le développement cognitif de l'enfant est alors largement suspendu au type de composition que le sujet sait effectuer entre ces opérations (ou préopérations). L'intérêt de l'imitation n'est dès lors pas de permettre à l'enfant d'accéder à un nouveau plan de développement cognitif, mais d'apprendre des enchaînements particuliers d'actions, liés à telle ou telle tâche.

Pour finir, ce que montre cette recherche initialement entreprise en vue de tester une conception empiriste est que la thèse constructiviste fonctionne même dans des contextes où ce sont précisément des processus d'acquisition empirique qui sont apparemment favorisés (ici l'imitation)⁵³.

Chapitre X : L'ordre des actions pratiques (avec S. Dayan et E. Decker, section I, et M. Spycher et C. Voelin, section II)

a. L'ordre direct

On présente deux situations. Dans la première, on demande à l'enfant de faire en sorte qu'une poupée empile des objets du plus large au plus étroit ; et dans la seconde, on lui demande de faire en sorte que la même poupée enfille les uns dans les autres des cylindres de dimensions décroissantes, pour construire ainsi une sorte de canne à pêche au moyen de laquelle elle puisse se saisir d'un objet. Outre la découverte des deux solutions, on demande aussi à l'enfant de comparer les deux activités de la poupée.

Au niveau IA (4-5 ans), les sujets parviennent à résoudre les deux tâches, parfois avec tâtonnements, ainsi qu'à décrire la suite des actions de la poupée en chaque situation. Mais ils ne voient rien de commun entre les deux suites. A ce niveau il y aurait un « début d'abstraction réfléchissante » (p. 136), le récit des enfants impliquant une reconstitution de la suite des actions « qui introduit entre autres un ordre temporel » (id.). Mais il manque un deuxième niveau consistant à dégager la forme commune aux deux successions.

Au niveau IB, vers 6 ans, on trouve des enfants qui, tout en décrivant de fait de façon très proche les deux suites (plus petit, plus petit, plus petit, etc.), se refusent à conclure à une communauté de forme : « lorsqu'il s'agit de conclure que c'est la même loi ou que ' ça se ressemble ' ou ' c'est pareil ', autrement dit de prendre conscience de l'identité des constructions pourtant déjà fournies par le processus réfléchissant, ils s'y refusent du fait que ce dernier palier, propre à l'abstraction réfléchie, comporte un effort réflexif de rétroaction aboutissant à une intégration d'ensemble » (p. 188).

Au stade II (7-8 ans), les sujets dégagent la forme commune et arrivent à généraliser à un troisième matériel.

En bref, il y a trois niveaux d'abstraction réfléchissante. Le premier est celui lors duquel le récit décrit la succession des actions (le contenu du récit résulte quant à lui « d'abstractions empiriques à partir des objets et des actions matérielles » (p. 189).



La seconde étape est celle où les enfants parviennent certes à décrire dans les faits le caractère commun des deux séries d'action, mais sans dégager la forme commune inscrite dans les deux descriptions. Enfin, le troisième niveau est celui de l'abstraction réfléchie qui dissocie cette forme commune des contenus respectifs propres aux deux séries.

On notera avec intérêt que le troisième niveau, celui de l'abstraction réfléchie, apparaît ici vers 7-8 ans, c'est-à-dire lors de l'acquisition des premières opérations concrètes. La capacité d'abstraction réfléchie ne serait ainsi pas forcément attachée à la construction des opérations formelles.

b. Ordres direct et inverse des actions

On a presque les mêmes situations que dans la recherche précédente. La différence tient à ce que chacune des deux séries d'actions comporte une action puis son inverse (ici il s'agit d'habiller une poupée, de construire une tour, de défaire la tour, de déshabiller la poupée). La comparaison achevée, on demande là aussi de faire la même chose avec un troisième matériel. Les stades sont les mêmes que dans la section précédente.

L'intérêt de ces deux recherches est de mettre en évidence la dissociation progressive entre la forme et le contenu des (séries d') actions en jeu.

Chapitre XI : Les changements d'ordre ou reculs nécessaires (avec A. Blanchet)

a. Problèmes et résultats

Les sujets sont confrontés à deux problèmes. Dans le premier, il s'agit de faire glisser une tige sur deux rails parallèles mais de forme différente (les deux extrémités de la tige étant liées aux rails par des anneaux) ; dans la seconde, il faut utiliser une plaque tournante pour inverser l'ordre des wagons d'un train en bois. Après que les sujets ont réussi, avec ou sans aide, chacun des deux problèmes, on leur fait comparer les deux suites d'actions.

Les enfants du stade I (5-6 ans) ne peuvent pas résoudre ces problèmes, sinon par hasard, et même si on leur montre le cœur de la solution : reculer pour atteindre un but ne fait pas du tout sens pour eux.

Au stade IIA (7-8 ans), les sujets réussissent en tâtonnant, et surtout ils commencent à intégrer le « sous-système négatif » dans leur programme d'action (p. 202). Hor-

⁵² Que l'on me permette d'apporter ici une note personnelle par rapport au présent compte-rendu. Lorsque j'ai imaginé cette situation de recherche, j'étais préoccupé par le rôle éventuel de guidage que pouvait jouer autrui dans le développement cognitif de l'enfant. Piaget a certainement raison de signaler que celui-ci ne peut imiter que ce qu'il parvient à réaliser de lui-même (et les résultats de cette expérience vont une nouvelle fois le confirmer). Néanmoins ce constat ne contredit pas la thèse selon laquelle l'abstraction pseudo-empirique réalisée sur les actions d'autrui peut contribuer à la structuration des compétences du sujet individuel. Ce thème mériterait des développements qu'il n'est pourtant pas opportun de réaliser dans ce travail de synthèse.



mis pour l'un d'entre eux (qui, conformément au chapitre précédent, serait classé au stade IB), il y a chez eux un début de compréhension de la similitude des actions aboutissant à la réussite : « là, il faut revenir et là aussi » (p. 203).

Enfin au stade IIB (vers 9 ans), les conceptualisations sont plus précises, ce qui peut se traduire par un plus grand souci de noter les différences.

b. Conclusion

L'intérêt de ces faits est de montrer qu'alors que tout peut sembler devoir être atteint par abstraction empirique (la forme des dispositifs contraint la suite des actions aboutissant à la réussite), « la nécessité du recul n'est comprise qu'en fonction d'une déduction fondée sur la forme circulaire des courbes en jeu » (p. 205, cela dans le cas de la tige glissant sur deux rails). La simple lecture des faits (le recul) exigerait ainsi un « facteur de déduction et d'abstraction réfléchissante » (id.), en raison du primat systématique des éléments positifs de l'action et de la pensée dans les premiers niveaux d'un développement cognitif. Ainsi, au début, les sujets ne voient-ils les reculs que comme des retours au point de départ. Au niveau IIA, dans le cas de la tige sur les rails, les sujets mettent en correspondance les actions d'avancer et de reculer de chacune des extrémités. Ces actions ne sont donc plus considérées de manière isolée.

Produit d'une abstraction réfléchissante à partir des coordinations générales du début des opérations concrètes, cette coordination particulière est ensuite elle-même la source de nouvelles abstractions se traduisant d'abord par un récit correct et ordonné des actions effectuées. Mais dans le cas des sujets intermédiaires [...] ce progrès n'est pas encore suffisant pour engendrer une « abstraction réfléchie » dégageant la forme commune des problèmes du curseur et de la plaque tournante (p. 206).

En d'autres termes, un premier palier d'abstraction réfléchissante conduirait à une résolution quasi opératoire des deux problèmes ; mais il faudra une abstraction réfléchie pour que le mécanisme général assurant la réussite des deux problèmes soit dégagé. Son intervention entraînera la disparition des anticipations trop rapides et des sous-estimations de la difficulté du problème.

Conclusions de la deuxième partie

Deux bilans généraux peuvent être tirés de la deuxième partie. Premièrement, pour pouvoir faire des constats pseudo-empiriques adéquats, il faut que le sujet ait construit par ailleurs les préopérations (sériation empirique) « qui ont permis la construction de la série et dont les propriétés d'ordre ont été de ce fait introduites dans les objets » (p. 210). Deuxièmement, la capacité de dégager par abstraction réfléchie la forme commune de résolution de différents problèmes « présente proportionnellement les mêmes retards par rapport à l'abstraction réfléchissante que dans le cas de problèmes nettement plus complexes, comme l'inversion des opérations arithmétiques du chapitre III et les formes élémentaires du groupe de Klein, comme le chapitre VII » (p.



210). Il semblerait ainsi que, de manière assez générale, l'abstraction réfléchie soit liée à la construction des opérations formelles.

Troisième partie : L'abstraction des relations spatiales

Le problème est ici plus complexe que pour les structures algébriques ou les structures d'ordre « car il existe un espace des objets aussi bien qu'une géométrie du sujet » (p. 211). L'auteur prend ici dans l'ordre inverse un argument qu'il avait déjà proposé ; c'est que maintenant il se place non pas du point de vue de l'empirisme et de l'hypothèse selon laquelle un ordre pourrait être directement extrait, par abstraction empirique, d'un ordre supposé inclus dans l'objet, mais du point de vue du constructivisme, pour lequel il s'agit de mieux comprendre comment procède l'abstraction réfléchissante. Sur le terrain de la connaissance géométrique, il y aurait en effet une collaboration plus étroite des deux formes, empirique et réfléchissante, d'abstractions, et c'est en quoi l'étude de l'abstraction des relations spatiales est particulièrement intéressante⁵⁴.

Chapitre XII : Relations entre surfaces et périmètres (avec J.-P. Bronckart et E. Rappe du Cher)

a. Le problème

Piaget répète sa définition de l'abstraction réfléchie, qui est une « prise de conscience des résultats d'une abstraction réfléchissante » (p. 213). La meilleure méthode pour l'étudier serait de demander des comparaisons de structures plutôt que d'étudier leur formation (mais dans ce cas ne risque-t-on pas de laisser échapper des abstractions réfléchies portant sur des résultats partiels d'abstractions réfléchissantes ?). Dans le présent chapitre, la comparaison portera sur les deux situations liées des conservations de la surface ou du périmètre en cas de transformation conservante de l'une ou de l'autre.

⁵³ Il faut pourtant noter que cette conviction de la valeur de la thèse constructiviste a également été renforcée chez l'auteur de ces lignes à la suite d'une reconstruction de l'œuvre de Piaget, ainsi que, de manière liée, par une lecture de la Critique de la raison pure de Kant et des ouvrages de Brunschvicg. Les faits ne peuvent jamais suffire à eux seuls à conforter ou à démentir une conviction théorique.



b. Abstraction et conservation

Piaget commence par rappeler les stades connus au sujet de ces deux conservations. Au premier stade (vers 6 ans), les enfants affirment généralement, en cas de transformation conservant soit le périmètre soit la surface, qu'ils diminuent ou qu'ils augmentent ensemble ; mais, en se basant sur l'expérience perceptive, ils peuvent aussi soutenir que l'un augmente alors que l'autre diminue. Au niveau IB, les non-correspondances l'emportent (l'un augmente alors que l'autre diminue). Au niveau IIA, « les réponses correctes commencent à l'emporter » (p. 216), c'est-à-dire qu'ils peuvent par exemple affirmer la conservation du périmètre et la non-conservation de la surface. Mais dès le stade IIB (vers 8-9 ans), les constatations de l'ancienne recherche sont confirmées : les sujets soutiennent une conservation simultanée de la surface et du périmètre. Ce n'est que vers 11-12 ans que l'on retrouve les réponses correctes.

En ce qui concerne les abstractions en jeu dans la progression des enfants, au premier niveau, l'abstraction porterait sur les aspects figuratifs des objets : « ce sont les changements perceptifs des figures qui font croire aux augmentations ou aux diminutions [...] des surfaces et des périmètres » (p. 218). Elle serait alors de type empirique ou pseudo-empirique, ce qui, ajoute l'auteur de manière très significative, reviendrait au même pour le sujet⁵⁵. Par contre, l'accès aux conservations du niveau IIA se ferait par abstraction réfléchissante. Elle consisterait à tirer des coordinations en jeu une loi de « commutabilité » (ou commutativité au sens large) selon laquelle ce qui est ajouté en un point (ici la longueur) correspond qualitativement à ce qui est enlevé en un autre (en ce cas la largeur). Il est difficile de comprendre exactement l'analyse de Piaget. Disons que l'enfant coordonnant ses actions d'allongement, de rétrécissement (et constatant éventuellement par abstractions pseudo-empiriques les effets de ses actions sur l'objet considéré) réfléchirait ces coordinations pour en tirer la loi impliquant la conservation de l'une ou l'autre des propriétés en question.

En ce qui concerne les réponses correctes des enfants du niveau IIA à propos de la non-conservation du périmètre lors de la conservation de la surface ou l'inverse, elles seraient dues à un « mélange d'abstractions empiriques (lectures perceptives) et réfléchissantes » (p. 220).

Au niveau IIB il y a primat progressif de l'abstraction réfléchissante « qui conduit alors exceptionnellement à l'erreur » (id.). Transformer la forme impliquerait la conservation des deux propriétés. « On peut donc dire – conclut Piaget – qu'en son principe l'abstraction qui inspire ces sujets est correcte mais que la double application imaginée par eux exigerait, en plus du contrôle des faits (toujours nécessaire pour établir si tel modèle déductif, valable en lui-même, est applicable ou non à tel ou tel secteur de la réalité), une réflexion d'un niveau supérieur, ou réflexion 'sur' les réflexions antérieures, de manière à examiner si ce cumul de deux conservations est cohérent, ou si elles sont incompatibles » (p. 220)⁵⁶.

c. Les comparaisons

Au stade I (6-7 ans), les reconstitutions de ce qui s'est passé sont trop approximatives pour aboutir à des comparaisons autres que très générales, aboutissant à des fusions



(par exemple dire que dans les deux cas « c'était grand, petit et puis moyen » (p. 221).

Au niveau IIA (vers 7-8 ans), il y a un bon résumé de chacune des deux expériences, mais identification lors de leur comparaison (« Qu'est-ce qui se passait dans les deux ? – Elles ne changeaient pas »). Pour Piaget, il s'agit moins d'une abstraction réfléchie qui annoncerait les doubles conservations du niveau IIB, que d'« une insuffisance d'abstraction réfléchie conduisant alors à des schématisations analogues à celles du stade I, mais plus cohérentes parce qu'orientées vers la conservation » (p. 223). Vers la fin de IIA d'ailleurs, la comparaison respecterait ce qui a été correctement décrit lors du résumé (pas de conservation simultanée). En ce cas, l'abstraction réfléchie est une simple prise de conscience « des relations découvertes pas à pas au contact des figures, donc avec une collaboration continue des abstractions pseudo-empiriques » (p. 224 ; il est possible que cette affirmation vise des sujets de stade supérieur au niveau IIA ; la formulation manque ici un peu de précision).

Au niveau IIB, l'abstraction réfléchie traduirait exactement le processus « réfléchissant » qui a amené les sujets « à supposer que toutes covariations inverses (longueur et largeur) impliquent une compensation et donc une conservation » (p. 225). Ce n'est que lors d'une nouvelle « métaréflexion » portant sur les transformations et non plus leurs résultats que les sujets atteindraient la raison des relations en jeu et qu'ils affirmeraient qu'il y a conservation dans un cas, non-conservation dans l'autre.

d. Conclusion

Piaget distingue en définitive cinq niveaux d'abstractions dans les conduites observées dans cette expérience. Au premier niveau, il y aurait un maximum d'abstractions (pseudo-)empiriques, ainsi que « des ébauches très lacunaires d'abstractions réfléchissantes et réfléchies tirées des coordinations d'actions et se manifestant dans les résumés » (p. 226). Au niveau IIA, il y aurait des « abstractions réfléchissantes actives » (p. 226), en d'autres termes « quasi intentionnelles » fondant les réponses correctes de conservation, mais « sans cesse contrôlées en cas de conservations par les abstractions pseudo-empiriques (lecture des faits) et même dirigées par elles dans le cas des non-conservations » (id.). A ce niveau pourtant, l'abstraction réfléchie serait insuffisante pour que les sujets comparent correctement les deux expériences (ils en arrivent à les identifier). Puis viendrait la phase correspondant aux doubles conservations, dans laquelle il y a un primat de l'abstraction réfléchissante, « refoulant ainsi les contrôles de l'abstraction pseudo-empirique » (qui, à un certain point, suggère pourtant fortement que la surface ne se conserve pas lorsque le rectangle formé par une ficelle de longueur invariante s'étire). L'abstraction réfléchie renforce alors, lors des comparaisons, ce primat de l'abstraction réfléchissante. Enfin vient le cinquième niveau. L'abstraction réfléchie « se double d'une réflexion sur cette réflexion, ce qui permet au sujet de dégager l'incompatibilité des deux conservations » (p. 226 ; notons ici le faible étayage de la notion de réflexion sur « cette réflexion » ; on ne voit pas très bien quelle est « cette réflexion » préalable sur laquelle s'appuierait la première).

Enfin, Piaget observe que « du point de vue de l'espace », si l'abstraction (pseudo-empirique) ne se suffit pas à elle-même, elle reste néanmoins nécessaire.



Notons par ailleurs qu'il est à nouveau question des raisons dans ce chapitre, le cinquième niveau étant celui de « la saisie de la raison des structures élaborées antérieurement » (p. 226).

Chapitre XIII : Les mouvements d'un projectile suspendu (avec M. et I. Flückiger)

a. Introduction

Etant entendu que toute abstraction empirique nécessite des cadres logico-mathématiques construits par abstraction réfléchissante, Piaget se demande dans ce chapitre si la première forme d'abstraction agit sur la seconde, et si oui, comment ? D'autre part, et cette question est très intéressante et instructive, il se demande si dans les niveaux de départ l'abstraction réfléchissante peut être source d'erreurs. C'est probablement la première fois que, après avoir signalé un fait allant dans ce sens dans l'un des chapitres précédents, Piaget conçoit l'abstraction réfléchissante non seulement comme source des structures, mais aussi, ce qui n'est au fond pas étonnant, comme source possible d'erreurs du jugement ou de l'action. On a là un indice nouveau de l'importance accrue des interrogations sur le fonctionnement de l'intelligence, par rapport à l'attention relativement extrême portée aux structures dans les étapes antérieures de l'œuvre.

Le problème des trajectoires que trace une balle suspendue par une ficelle accrochée au plafond est l'occasion de trouver des réponses à la question des rapports entre abstraction empirique et abstraction réfléchissante dans la mesure où intervient un contrôle nécessaire de l'expérience physique par rapport aux déductions mathématiques.

L'enfant peut-il prévoir les trajectoires de la balle (qui trace une cuvette), ou peut-il prévoir comment des quilles de différentes hauteurs seront touchées par cette balle lorsqu'on la lâche (dans un problème, on demande aussi comment une quille doit être placée, ou l'enfant se déplacer, pour que la balle atteigne sa cible) ?

b. Les résultats

Au niveau IA (normalement vers 5-6 ans), le sujet anticipe des trajectoires tout à fait fantaisistes, l'important étant qu'il se mette en face de la balle, position apprise par l'expérience, et qui ne suffit pas pour certaines positions du crochet (en cas d'échec, les enfants se rapprochent physiquement du but, alors qu'il faudrait s'en éloigner pour compenser l'effet de l'accrochage de la balle sur sa trajectoire). Quant aux questions relatives à la hauteur des quilles, les réponses des enfants montrent qu'ils croient que la balle va parcourir une trajectoire rectiligne.

⁵⁴ Mais lorsqu'un sujet autre introduit de l'ordre dans le réel, le problème ne se pose-t-il pas dans les mêmes termes que pour l'abstraction des relations spatiales ?



Au niveau IB par contre, les enfants découvrent le rôle du crochet et de la ficelle, d'où des améliorations dans les prévisions, mais toujours avec beaucoup d'erreurs. Le problème de la hauteur des quilles donne d'ailleurs toujours lieu à des prévisions erronées. En bref, Piaget constate des « lacunes surprenantes de l'abstraction et de la généralisation » (empiriques). Ces erreurs trouveraient leur source dans l'abstraction réfléchissante ! Toutes les erreurs peuvent en effet être attribuées « à la prégnance de coordinations initiales consistant, pour atteindre un but, à se placer en face de lui et le plus près possible : ce serait alors une abstraction réfléchissante à partir de ces coordinations élémentaires d'actions qui fausserait les abstractions empiriques ! » (p. 235). L'enfant a dégagé un ordre à partir de l'ordre de ses actions sensori-motrices usuelles et il le généraliserait abusivement. Ce qui permettra de dépasser cette erreur provenant d'une première abstraction réfléchissante, c'est une succession d'abstractions réfléchissantes ultérieures... (Notons pourtant qu'un peu plus loin, l'auteur soulignera qu'il n'y a pas dans ce cas « erreur de l'abstraction réfléchissante », c'est-à-dire défaut de structure du schème de la visée, mais application non appropriée⁵⁵).

Le passage cité est évidemment intéressant. On y voit Piaget appliquer la notion d'abstraction réfléchissante à cette activité qui, dit-il ailleurs, peut être inconsciente, non intentionnelle, et par laquelle l'enfant abstrait l'ordre contenu dans ses actions, cette abstraction portant sur un minimum de coordinations, et étant de plus étroitement liée à des abstractions empiriques. Le schème de l'orientation vers un but contient un mélange indissociable des deux sortes d'abstractions (cf. p. 235). Le rôle des deux abstractions y est pourtant distinct : l'abstraction réfléchissante est structurante, « tandis que l'abstraction empirique (ou physique au sens expérimental) fournit des données, soulève les questions et vérifie les solutions par réussites ou échecs » (p. 236). L'auteur ajoute que l'abstraction empirique sera toujours dépendante de l'abstraction réfléchissante, contrairement à celle-ci par rapport à la première.

Au stade II (vers 7-10 ans), Piaget signale deux progrès à ce niveau : une lecture des faits (donc une abstraction empirique) plus fine, tenant compte des feed-back de l'expérience, mais aussi la formation de nouvelles coordinations « groupées autour de l'idée centrale de balancement » (p. 236). Les sujets de ce stade parviennent à prévoir quelques-uns des points par où passera la balle (ceux du niveau IIB sachant mieux s'appuyer sur l'expérience, prenant la balle dans leur main et tirant la ficelle comme moyen de contrôle de leur prédiction). L'auteur ne précise pas ce que sont les coordinations basées sur le balancement et utilisées pour diriger les prédictions. Peut-être s'agit-il de la balle qui descend « en tournant », qui passe par le milieu, qui remonte, ainsi que de la position des quilles. Mais en ce cas, on aurait aimé savoir comment s'effectue la coordination des mouvements de l'objet avec ceux du sujet. L'enfant coordonne-t-il par exemple les mouvements de descente et de montée de la balle dans la mesure où, par ailleurs, il coordonne les mouvements de descente et de montée d'objets qu'il manipule (ou les mouvements de ses propres membres) ?

Au stade III, le sujet infère que le balancement décrit nécessairement un arc de cercle, et que l'ensemble des arcs de cercle forme une cuvette. Est-ce qu'une succession de seules abstractions empiriques pourrait le conduire à cette thèse ? Certes, dès le

⁵⁵ Cette dernière indication est importante ; elle conforte la thèse selon laquelle, du point de vue du fonctionnement psychologique, il n'y a pas de différence importante entre abstraction empirique et pseudo-empirique ; ce n'est que du point de vue épistémologique que cette distinction prend tout son sens.



premier stade l'enfant peut constater la présence de la ficelle et du crochet. Mais encore faudra-t-il qu'il mette les données empiriques en relation, et ce n'est qu'au terme de ces mises en relation que les déplacements seront conçus « comme la rotation d'un rayon à partir du centre fixe » (p. 242).

c. Conclusions

Les conclusions de ce chapitre s'attachent à retracer la « construction laborieuse » des abstractions réfléchissantes ! Ici on peut se demander si l'auteur ne fait pas preuve de légèreté conceptuelle ! Les abstractions réfléchissantes formant, avec les régulations, etc., les mécanismes de construction des structures, il paraît peu acceptable de parler de construction à leur sujet ! Ce qu'il a peut-être seulement en vue ici serait la description de leur succession, et c'est bien ce que suggère la fin du chapitre⁵⁸.

Avant de procéder à cette description, Piaget commence par affirmer que si la géométrie du sujet est de nature opérative (puis opératoire), celle de l'objet serait essentiellement figurative et qualitative (la perception ne livre que des figures ou des états). Mais le sujet peut naturellement appliquer sa géométrie (et en particulier la métrique) aux objets, et c'est ce qu'il fera avec le balancement.

Cela précisé, Piaget s'applique alors à suivre la construction du schème du balancement, au niveau IIA puis IIB. Bien que qualitatif et apparaissant sous sa forme figurative au sujet de niveau IIA, le schème notionnel du « balancement » est tiré du schème perceptivo-moteur « faire balancer », résultat lui-même de coordinations d'actions indissociablement mêlées à des abstractions empiriques. L'auteur précise pourtant que la part de l'abstraction réfléchissante dans l'application du schème de balancement propre à ce niveau IIA est faible par rapport à celle, « considérable », de l'abstraction empirique. En d'autres termes, il n'y a que peu de coordinations à cette étape. Au niveau IIB au contraire, il y a « progrès notable dans le sens de l'abstraction réfléchissante, bien qu'il faille attendre le stade III pour que certaines limitations de cette abstraction soient dépassées :

[Au stade IIB, à partir] du schème opératif (mais non encore opératoire) d'un balancement quelconque est tiré le modèle d'un balancement à courbure symétrique [la balle remonte à peu près comme elle est descendue], mais surtout l'utilisation comme mesurant de la balle au bout du fil tendu et le fait que pour atteindre plusieurs quilles à la même hauteur le sujet renonce vite à les aligner et les place en arcs de cercle ou en ronds, même concentriques. On dira que c'est là le résultat de simples constatations, donc d'abstractions empiriques : mais d'abord il fallait les faire systématiquement, ce qui suppose une méthode (fil tendu), et ensuite il fallait un effort de représentation de la courbure propre au balancement, et, dès qu'il y a construction d'un modèle il tend naturellement, pour des raisons de quantification implicite, à prendre une forme symétrique. Ce qui est cependant remarquable à ce niveau IIB est non seulement ce progrès

⁵⁶ Ce passage est intéressant en ce que pour la première fois peut-être on voit l'auteur introduire explicitement une référence à l'expérience pour éprouver la validité d'un jugement de conservation (pour autant du moins que la conservation supposée concerne une propriété physique, voire géométrique, des objets extérieurs).



dans le sens de la quantification (utilisation de la balle au bout du fil tendu en tant que celui-ci comporte une longueur constante et construction des arcs et des cercles sur le plan horizontal), mais aussi la limitation d'une telle quantification : en effet, les sujets de ce niveau n'aperçoivent pas encore que les arcs ou les ronds qu'ils construisent sur le plan horizontal comme lieux géométriques d'une même hauteur de frappe [...] impliquent en vertical que la courbure propre au balancement constitue elle-même un arc de cercle avec rayon constant. La raison d'une telle limitation est d'ailleurs claire : ce dont le sujet prend d'abord conscience, c'est le résultat de ses opérations, donc les arcs et cercles sur le plan horizontal, tandis que l'opération elle-même en tant que transformation, donc la rotation d'un rayon constant décrivant à son extrémité un arc de cercle proprement dit, échappe encore à l'attention du sujet.

Avec le stade III, enfin, s'impose cette dernière abstraction réfléchissante : la ficelle tendue devient un rayon invariant, sa rotation engendre un arc de cercle et la somme de ces arcs constitue une cuvette. Résultat tardif, mais on comprend maintenant pourquoi : chaque étape de l'abstraction réfléchissante comporte une nouvelle construction, dans le sens des constances et de la quantification des transformations, car le « réfléchissement » de l'action en opérations conduit à une « réflexion » réorganisatrice exigeant ces quantifications (pp. 244-245).

Quant aux deux problèmes généraux posés au début de ce chapitre, voici ce que Piaget tire de ses analyses :

[...] il va d'abord de soi que ces abstractions réfléchissantes successives ne sont jamais pures, puisque constamment soumises au contrôle des faits qui relève de l'abstraction empirique, mais que leur développement, d'un niveau au suivant marque une différenciation progressive entre les deux types d'abstractions : entre le simple schème du balancement où l'abstraction empirique prédomine et les notions d'arc de cercle en vertical et de « cuvette » propres au stade III dont le contrôle n'est plus qu'inférentiel et indirect la différence est saisissante. En second lieu, il semble clair qu'à tous les niveaux l'abstraction réfléchissante est structurante, tandis que l'abstraction empirique se borne à fournir des données, c'est-à-dire soit à servir de contrôle soit à soulever des questions, ce qui est certes doublement indispensable mais non pas encore source de solution. Enfin on constate que jusqu'au stade III les abstractions réfléchissantes demeurent incomplètes : elles fournissent d'abord le schème de balancer, mais sans précision sur la courbure, puis un arc de courbe symétrique mais non encore circulaire et enfin l'arc de cercle : or une incomplétude n'est point une erreur et lorsqu'il y a erreur [...] elle tient à une application abusive sans ébranler le fait qu'en son champ restreint d'application l'abstraction en jeu restait valable (p. 245).

Retenons de ce passage l'affirmation très ferme selon laquelle, si l'abstraction réfléchissante peut produire des constructions incomplètes, elle n'est pourtant pas productrice d'erreurs (les erreurs provenant d'une application abusive de ses constructions).



Chapitre XIV : Les diagonales (avec M. Lavallée et M. Solé-Sugrand)

a. Le problème

Dans ce chapitre, le problème posé est de voir dans quelle mesure les enfants conçoivent un mouvement en diagonale comme le produit de deux mouvements, l'un horizontal et l'autre vertical. L'un des deux dispositifs utilisés est celui que l'on rencontre dans le commerce : une « ardoise magique » où deux boutons assurent le mouvement, l'un en horizontal, l'autre en vertical, d'une pointe dessinant un trait sur l'ardoise. Après de premiers essais libres, on demande aux enfants de reproduire des modèles, puis de comparer ce qui se passe dans les deux situations.

b. Les résultats

Au stade I (vers 5-6 ans), les sujets n'utilisent pas spontanément les deux boutons simultanément, et si on le leur suggère, ils ne voient pas le mouvement quelconque du pointeur comme étant la conséquence des deux déplacements en hauteur et en largeur du même pointeur. Ils ne s'intéressent de plus qu'aux résultats, sans prêter attention aux actions « en leur forme ou schème généralisable » (p. 249 ; à noter l'usage ici adéquat de la notion appauvrie de schème). Dès lors, si on leur fait comparer leurs actions dans les deux dispositifs, ils ne s'attachent qu'à une analogie très générale (dessiner) ou à souligner leur différence (dans un cas, on tire sur le crayon, dans l'autre on tourne un bouton).

Au niveau IIA (7-8 ans environ), le sujet découvre par lui-même que le mouvement en diagonale est la composition des deux mouvements en vertical et en horizontal. Il commence à pouvoir modifier par tâtonnement l'inclinaison de la diagonale. Ceci rejoint les constats faits lors de la recherche sur les vecteurs, dans l'étude de la causalité.

L'enfant du niveau IIB (9-10 ans) dose en plus et moins les mouvements à accomplir sur les deux boutons pour atteindre telle ou telle inclinaison (selon le modèle proposé), c'est-à-dire à opérer sur les opérations induisant les deux déplacements en horizontal et vertical. Au niveau III (11-12 ans), c'est la variation des vitesses qui sera contrôlée et comprise, cela pour permettre de dessiner un dôme arrondi (un enfant affirmera, par exemple, « d'abord je vais doucement, un peu plus vite avec celui-ci, après j'ai accéléré l'autre », p. 252). Les sujets déduisent du rôle de la vitesse les formes des différents tracés.

⁵⁷ N'en va-t-il pas de même à tous les niveaux de l'abstraction réfléchissante et de ses produits ? Ceci irait dans le même sens que la thèse selon laquelle le sujet épistémique est présent au sein du sujet psychologique bien avant l'accès aux structures opératoires (c'est-à-dire que toutes les protostructures sont correctes, mais par rapport à des champs d'application limités, et en l'absence de nécessités logiques et opératoires caractéristiques des connaissances rationnelles).



c. Conclusions

Pour Piaget, la « succession de nos quatre niveaux fournit un bel exemple d'acquisitions opératoires superposées » (p. 252). Au premier stade, le sujet hérite de ses constructions antérieures le pouvoir de tracer des verticales (V) et des horizontales (H) et de les inverser. Au niveau IIA, il découvre la coordination possible entre les déplacements verticaux et horizontaux, coordination donnant lieu à des déplacements obliques. Au niveau IIB, il découvre le rapport entre l'inclinaison plus ou moins grande et la plus ou moins grande vitesse des déplacements composants. Au niveau III, il maîtrise l'accroissement des vitesses permettant de réaliser des courbes. A chaque étape, il y a utilisation des coordinations antérieures, mais avec un enrichissement. L'extraction qui caractérise le passage d'un niveau à l'autre est ainsi « constructive en même temps qu'abstractive par le fait qu'elle réalise ou actualise chaque fois les possibilités ouvertes par la conduite immédiatement antérieure » (p. 253) : ce que l'on peut faire successivement (vertical puis horizontal, ou vice versa), on peut le faire simultanément (IIA) ; ce que l'on peut faire avec une égalité de déplacements simultanés, on peut le faire en adoptant des vitesses différentes (IIB). Une nouvelle possibilité est alors ouverte : « introduire $V < \text{ou} > H$, c'est en réalité leur attribuer des vitesses différentes, mais en tant que vitesses constantes : or, l'invariance est un cas particulier de la variation, lorsque celle-ci devient nulle, ou si l'on préfère, lorsqu'elle est niée ; d'où les réactions du stade III où les vitesses différentes de V et de H sont considérées comme variables pour réaliser les courbures » (p. 254).

Tout le passage précédent, cette description des nouveaux possibles ouverts par chaque construction, rappelle celui des Étapes de la philosophie mathématique, dans lequel Brunshvic signalait comment les dépassements vers une mathématique plus puissante découlaient de ce qui s'inscrit en creux dans chacune des étapes successives (par exemple, les nombres négatifs, et donc l'ensemble des relatifs, comme conséquence des opérations d'additions et de soustractions agissant d'abord sur les seuls entiers positifs).

Notons aussi que tout le dernier paragraphe de ce chapitre est lié à la question des nouveaux possibles (ceux du stade III ne sont pas ouverts par les acquis du stade I, mais par ceux du stade II). On a là un nouvel indice des liens entre les différents thèmes de recherche traités par Piaget dans les années 70.

En ce qui concerne l'abstraction réfléchissante, problème principal de cet ouvrage tout de même, citons les conclusions tirées de ce constat que la progression du stade I au suivant se fait par une extension des relations utilisées, ou par leur négation, sorte particulière d'extension d'ailleurs :

En une telle situation le processus de l'abstraction réfléchissante perd l'essentiel de son mystère apparent : d'une part, la relation en jeu en chaque cas est tirée des coordinations antérieures, et cela est compréhensible ; mais, d'autre part, la possibilité de la négation ou inversion est elle aussi acquise et cela dès le stade I (sous la forme préopératoire d'une renversabilité de V vers le haut ou le bas et de H vers la droite ou la gauche). La nouveauté due à l'abstraction réfléchissante n'est donc ici qu'une nouveauté de combinaison ou de coordination, les éléments ou opérateurs combinés étant tous tirés de ce qui précède (p. 254).



La nouveauté propre à l'abstraction réfléchissante tiendrait essentiellement à la recombinaison d'éléments tirés des acquis des niveaux précédents... Cette conclusion a-t-elle une portée générale ou ne vaut-elle que pour des situations particulières ? Difficile de le savoir, Piaget étant au moment où il rédige ces lignes manifestement préoccupé par la question des rapports entre l'évolution des possibles et le constructivisme.

Chapitre XV : Le déplacement du point de repère dans un système de mouvements cycliques (avec E. Ackermann et N. Cox)

a. Le problème

Deux problèmes « isomorphes » sont posés aux enfants. Le premier concerne le mouvement d'un repère tracé sur les chenilles d'un tank lorsque celui-ci avance (si le repère touche le sol, le tank avançant d'un chaînon, le repère reculant d'un chaînon, le mouvement du repère est nul par rapport à l'extérieur, sinon il est de deux chaînons !), et le deuxième, le déplacement d'un caillou appartenant à une série de cinq, qu'il s'agira de déplacer les uns après les autres pour qu'une poupée puisse traverser une rivière sans se mouiller. Après avoir été confronté aux deux problèmes, le sujet est invité à décrire ce qu'ils ont de commun.

b. Les résultats

Pour le problème des cailloux, vers 4 ans environ (niveau IA), les sujets affirment, ce qui est correct, que le référentiel a changé de place (par exemple par rapport aux cailloux qui ont été placés devant lui), et ils en déduisent que ce référentiel a bougé par rapport aux rives (ce qui dans les faits ne s'est pas produit). Ils ne voient pas la contradiction qu'il y a à affirmer que le caillou recule par rapport aux autres et avance par rapport à la rive à atteindre.

Au niveau IB (vers 6 ans environ), les enfants reconnaissent que le caillou R de la série BBBBR ne bouge pas lorsqu'on fait passer trois bleus devant lui. Mais pour le tank ils croient que le référent R (qui est le premier des chaînons touchant le sol) est emporté par le mouvement d'ensemble lorsque d'autres chaînons viennent se placer devant lui (cette réponse pourrait bien correspondre à la croyance spontanée de l'adulte !).

⁵⁸ D'un autre côté, on pourrait aussi admettre que, de même que le métier de constructeur de bâtiments s'est progressivement construit, de même l'abstraction réfléchissante, mécanisme fondamental de la construction des structures (et protostructures), se construit au cours de la psychogenèse à partir d'une capacité très générale qu'a l'intelligence humaine, et peut-être déjà animale, de traiter l'ordre inhérent à l'action. Mais bien sûr l'organe de construction des structures ne se construirait pas de la même manière que les réalités dont il assure la construction.



Au niveau IIA (7-8 ans environ), le chaînon de référence peut être perçu et jugé immobile pour la chenille, mais sans que sa trajectoire puisse être reconstruite lorsqu'il se déplace (lorsqu'il s'agit de décrire les trajectoires des chaînons, les réponses des enfants ont tendance même à régresser en ce qui concerne R).

Au niveau IIB (9-10 ans environ), les sujets affirment que le R de la chenille ne bouge pas pendant un moment. Lorsqu'ils sont invités à dessiner ce qui se passe lorsqu'il commence à bouger, ils décrivent des trajectoires à peu près correctes, avec parfois la représentation d'un recul (les dessins des enfants ne sont malheureusement pas reproduits dans l'ouvrage).

Enfin au stade III, l'immobilité momentanée de R n'est plus seulement constatée, comme au deuxième stade, mais anticipée avant toute manipulation (ce qui ne signifie pas qu'une réflexion ne soit pas nécessaire pour dépasser la croyance spontanée que les chaînons se déplacent forcément à tout moment avec le tank).

c. Conclusions

En ce qui concerne les abstractions, au niveau IA elles sont surtout empiriques. L'enfant constate que R a reculé par rapport aux autres éléments. C'est un autre constat global qui l'incite à croire par ailleurs qu'il y a avance du même référent par rapport à l'extérieur (à la rive).

Au niveau IB, il y a début de coordination : les sujets arrivent à intégrer les deux référentiels dans un espace unique (mais pour ce qui est des cailloux seulement). « Cette intégration est assurément due à une abstraction réfléchissante puisqu'elle consiste à lever une contradiction sans modifier les données empiriques, donc à se livrer à une coordination inférentielle qui relativise le recul et le rattache à un seul des deux référentiels, subordonnant ainsi le tout aux références extérieures, plus générales et plus stables » (p. 263).

Au niveau IIA, l'analyse l'emporte sur la suggestion perceptive globale en imposant l'idée que pour la chenille du tank aussi, le référent est immobile par rapport au référentiel extérieur. Mais cette idée ne s'impose par ailleurs que dans la mesure où l'analyse s'appuie sur le constat de l'immobilité du référent par rapport à l'extérieur. Il n'y a pas encore compréhension dans la mesure où il n'y a pas encore de coordination des mouvements de rotation par rapport au référentiel interne et de translation par rapport au référentiel extérieur. Cette coordination se fait au niveau IIB, mais par appui sur les observations. Dès lors les mouvements d'arrêt constatés sont coordonnés avec les mouvements d'ensemble (du tank). Au niveau III, l'abstraction réfléchissante portant sur les différents mouvements en jeu pourra être réalisée avant tout constat.

Qu'en est-il enfin de la comparaison des deux dispositifs ? Les abstractions réfléchies auxquelles elle conduit sont non seulement en retard par rapport aux processus réfléchissants intervenant au cours de la résolution de chaque problème ; elles peuvent entraîner aussi des régressions de ces processus (en voyant l'analogie globale des deux situations, et en croyant constater un recul du repère dans le cas du tank, un sujet pourra revenir sur son affirmation selon laquelle le caillou référent ne bouge pas lorsque d'autres cailloux passent devant lui). Ce n'est qu'au niveau IIB que la comparaison ne pose plus de problème et peut être à son tour source de progrès :



En un mot, comme d'habitude, les abstractions « réfléchies » dues aux comparaisons sont d'abord en retard sur le processus « réfléchissant » lui-même, puis atteignent le même niveau et peuvent alors servir de tremplin pour une nouvelle avance, dans la direction de la pensée réflexive faite de réflexions sur les réflexions antérieures (p. 264).

Chapitre XVI : Abstractions à partir d'actions de déplacements et de leurs coordinations (avec J. Cambon et J. Cuaz)

a. Le problème

Etant entendu que l'abstraction empirique du sujet peut aussi porter sur ses actions en leur « aspect matériel », Piaget se demande où est la frontière entre les actions en tant que matérielles et leurs coordinations. Suffit-il de dire que l'abstraction empirique est constatation alors que l'abstraction réfléchissante vise la compréhension ? Non, il faut aussi mettre en lumière les processus en jeu dans les deux cas.

Ces questions sont traitées en relation à différents problèmes que les enfants doivent résoudre, problèmes touchant au jeu bien connu de « passalong » (il s'agit de déplacer par glissement des carrés ou des rectangles insérés dans une boîte, de telle sorte qu'une certaine disposition finale soit atteinte). La première question est celle de la façon dont les enfants se débrouillent avec les espaces vides, étant entendu que la psychologie génétique a montré comment la maîtrise de l'espace vide est liée à celle des conservations spatiales.

b. Les espaces vides

Bien sûr les enfants de 5-6 ans n'ont pas de problème à déplacer une pièce géométrique vers l'espace libre voisin. La perception suffit pour cela. Mais si on leur demande d'inventer un jeu similaire à ceux qu'on vient de leur soumettre, ils commencent par remplir complètement la boîte sans se douter qu'ils rendent ainsi impossible le déplacement des pièces ! Ce n'est qu'après constatation de cette impossibilité qu'ils enlèveront une ou des pièces pour permettre aux autres de bouger.

En ce qui concerne la réussite au problème du déplacement permettant de reproduire le plus simple des modèles donnés, elle est atteinte lorsqu'il suffit de remplir successivement l'espace laissé vide à chaque déplacement d'un élément (sitôt que des éloignements par rapport au but sont exigés, il y a échec absolu). Seule la coordination alors élémentaire des moyens au but et la compréhension après coup de la nécessité des vides « témoignent d'un début d'abstraction réfléchissante » (p. 269).



c. Déplacements angulaires et renversabilité

Les premières coordinations anticipatrices sont celles qui interviennent dans le problème où il s'agit de déplacer un élément se trouvant au-dessus ou au-dessous d'un autre pour le mettre à côté, ou à côté pour le mettre au-dessus ou au-dessous (c'est ce que Piaget appelle déplacement angulaire).

Dans le cas illustré par le schéma de droite, l'enfant doit résister à la tentation d'occuper tout l'espace qui vient d'être laissé libre par un déplacement. Ce n'est qu'au niveau IIA (vers 7-8 ans) que des solutions sont trouvées, mais sans généralisation. Au niveau précédent, après avoir déplacé correctement les trois carrés supérieurs de gauche, les sujets déplacent ensemble les deux carrés supérieurs de droite afin qu'ils viennent occuper tout l'espace laissé libre par les déplacements antérieurs (d'où l'impossibilité de monter le grand carré inférieur).

Au niveau IIB, les déplacements angulaires ne posent plus de problèmes, encore que les sujets ont le sentiment d'aller contre le déplacement le plus naturel en agissant comme ils le font.

En ce qui concerne l'abstraction empirique, elle porte ici soit sur les qualités isolées des pièces, soit sur leurs mouvements également isolés (non coordonnés). Quant à l'abstraction réfléchissante, voilà ce qu'il en est ici :

L'abstraction réfléchissante de nature géométrique porte au contraire sur les coordinations d'actions en tant que libres combinaisons et compositions dépassant les relations simplement constatées. Certes ces compositions de déplacements donnent également lieu à des constatations et sont soumises à des réussites qui sont elles aussi constatées, car le propre des opérations spatiales (ce qui les distingue des opérations logico-arithmétiques) est de pouvoir se traduire dans le détail en images ou représentations figuratives. Mais le critère fondamental des coordinations réussies dont procède l'abstraction réfléchissante est leur nécessité intrinsèque, par opposition aux réussites aléatoires ou simplement constatées (pp. 272-273).

Les sujets de niveau inférieur ne parviennent pas à se détacher de l'abstraction empirique liée à l'aspect figural de l'espace vide.

d. Nombre de possibilités et solutions impossibles

Comme il est souvent question de possibilité et d'impossibilité (réelle ou imaginée) de déplacer des pièces dans cette recherche, Piaget consacre une section entière à ce point (à noter que contrairement aux autres chapitres le découpage des sections n'est pas essentiellement lié aux stades franchis par les sujets). Les réponses des enfants montrent que « les impossibilités ne sont réellement prévues et calculées qu'au stade III (et encore pas toujours immédiatement) » (pp. 276-277). La raison en est que « l'anticipation d'une impossibilité comporte en plus la compréhension de la raison de celle-ci, et marque donc un progrès décisif dans le sens des compositions « nécessaires » (p. 277).



e. Conclusions

Piaget commence par discuter le problème épistémologique complexe soulevé par la géométrie (peut-être aurait-il mieux valu traiter ce problème de portée générale dans l'introduction ou la conclusion de cette troisième partie). L'objet conceptuel de la géométrie a, comme celui de la physique, un correspondant extérieur (une surface, par exemple) ; mais alors que l'objet extérieur de la physique est plus riche que son objet conceptuel, il en va autrement en géométrie (il y a une infinité de géométries possibles, dont seules quelques-unes sont réalisées)⁵⁹.

Ensuite, l'auteur revient sur le même problème que dans les chapitres précédents, à savoir les relations entre abstraction empirique et abstraction réfléchissante dans le cadre des présents comportements ou réponses des enfants. Là, comme précédemment, il note une montée en puissance progressive de la seconde par rapport à la première.

Citons pour finir le dernier paragraphe de ce chapitre qui, pas plus d'ailleurs que ceux qui le précèdent, ne contient de nouvelles indications relativement au problème de l'abstraction réfléchissante.

Au total, et bien que tous les produits de l'abstraction réfléchissante correspondent à des constatations empiriques possibles, celle-ci constitue une source de nouveautés continues, en ce sens que les constatations fournissent exclusivement des états de fait et des généralisations extensionnelles tandis que la réflexion atteint les raisons et les compositions nécessaires, ne se bornant pas ainsi à devancer l'expérience par des anticipations déductives, mais la dépassant en y introduisant une nécessité que les faits à eux seuls ne comportent jamais (p. 280).

En bref, c'est par une comparaison et par une composition des déplacements horizontaux et verticaux que le sujet parvient au stade IIA ; c'est par un « progrès dans la compréhension des raisons » qu'il parvient aux généralisations du sous-stade IIB ; et enfin c'est par une pleine connaissance de toutes les conséquences des types de déplacements possibles qu'au stade III il est absolument certain de l'impossibilité de certains d'entre eux.

Chapitre XVII : Rotations et translations (avec J. de Lannoy)

a. Problèmes posés

Deux problèmes sont posés aux enfants. Le premier concerne la rotation d'un long rectangle dont une extrémité contient trois bandes colorées. Le second, le problème principal, consiste à faire passer, sans la soulever, une équerre (de 10 x 10 cm ou de 3.8 x 10 cm) à travers les portes d'une boîte ouverte, ce qui exige une suite de translations et de rotations adéquates.



b. Stade I (5-6 ans)

Les sujets se représentent correctement l'ordre des couleurs une fois le rectangle retourné. En ce qui concerne le problème de l'équerre, s'ils réussissent par tâtonnements, ils ne se représentent pas le rôle des rotations dans leur réussite. Du fait qu'ils peuvent réussir à franchir les trois portes dans un sens, ils ne déduisent pas qu'ils réussiront dans l'autre sens.

c. Sous-stade IIA (7-8 ans)

Les enfants comprennent qu'il est nécessaire d'amener telle ou telle extrémité de l'équerre pour pouvoir franchir chacune des portes, et donc la nécessité des rotations. « Mais ce qui leur manque encore est l'évaluation des possibilités de manœuvre dans l'espace entre les parois précédant l'entrée dans la porte ou dans l'espace ultérieur conduisant à la porte suivante » (pp. 285-286). A ce niveau les formes d'abstractions demeurent en partie empiriques, basées sur des constatations successives, « et en partie réfléchissantes tirées des coordinations d'actions nécessaires aux rotations » (p. 286).

d. Niveaux IIB et III

Vers 9-10 ans, « les coordinations entre les facteurs dimensionnels et directionnels, ou entre les rotations et les translations, s'effectuent progressivement » (p. 286). Les réponses du niveau III sont peu différentes de celles du niveau IIB.

e. Conclusions

Piaget commence par noter la dimension de nécessité reconnue progressivement au niveau IIB. Il note aussi comment un cadre assimilateur tiré des coordinations du sujet encadre de plus en plus ses actions (et donc la part diminuante que jouent les abstractions empiriques).

En ce qui concerne l'abstraction réfléchie liée à la comparaison des deux situations, au niveau I il n'y a aucune ressemblance détectée. Au niveau IIA, les sujets signalent bien l'existence dans les deux cas de rotations. Mais il est encore fortement question des objets eux-mêmes et non pas d'une seule référence à la forme des opérations effectuées. Au niveau IIB, c'est cette forme qui passe au premier plan.



Chapitre XVIII : La rotation d'une tige au niveau sensori-moteur (avec C. Monnier)

a. Introduction

Ce chapitre est particulièrement intéressant dans la mesure où il concerne l'étude du rôle de l'abstraction réfléchissante dans le développement de l'intelligence sensori-motrice. Rien ne laissait supposer une telle extension de cette notion d'abstraction dans les travaux antérieurs de Piaget.

La situation à laquelle sont confrontés de très jeunes enfants est la suivante. Un objet est à l'extrémité d'une tige qui peut tourner sur un pivot placé au milieu de la table. Placé devant la table, chaque enfant souhaite s'emparer de l'objet. La progression des solutions apportées par les sujets de différents niveaux fait-elle intervenir une forme d'abstraction réfléchissante ?

b. Les trois premiers niveaux

Au premier niveau (entre 10 et 12 mois), le sujet cherche à saisir l'objet en tirant sur la tige (conduite du support), ce qui a pour effet d'éloigner la cible. Il se déplace alors vers le point duquel l'objet s'est rapproché et tire à nouveau sur la tige, ce qui éloigne à nouveau celui-ci de l'enfant pour le rapprocher de la première position (pour réussir, il ne faut pas tirer sur la tige, mais lui faire subir une rotation). Au deuxième niveau, vers 1 année et quelques semaines, les sujets, après avoir tiré sur la tige, s'aperçoivent de sa rotation, et l'exploitent, mais trop globalement pour amener l'objet à une distance du bord de la table qui permette de le saisir (la description qui est faite de la situation est trop lacunaire – il n'y a pas de dessin ! – pour que l'on puisse se représenter pleinement les actions de l'enfant). A un troisième niveau (vers 1 an et 2 mois), il y a « continuation de la rotation jusqu'au moment où l'objet devient accessible à la main sur le côté de la table adjacent à celui qu'occupe le sujet » (p. 290). La réussite des enfants résulte de « réactions circulaires tertiaires », autrement dit des « expériences pour voir », des tâtonnements dirigés et non plus aléatoires, variant les conditions et les actions pour voir l'effet de ces variations.

c. Les deux derniers niveaux

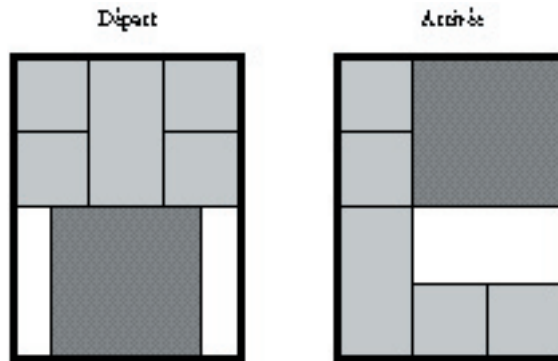
A la suite de divers essais, le sujet réalise une rotation plus complète, qui après avoir rapproché la tige de son corps l'en éloigne, ce qui amène l'objet jusqu'à lui et lui évite ainsi de devoir se déplacer, mais pas immédiatement. Pour parvenir à cela, le sujet anticipe en certaines situations la continuation d'une rotation, et il fait aussi intervenir une inversion de sens de l'action (il faut repousser la tige pour prolonger la rotation).

Au cinquième niveau, l'inversion devient décisive : « après avoir constaté qu'en tirant à lui la barre il éloigne l'objet, l'enfant repousse au contraire celle-ci dans

l'autre sens, ce qui lui impose une rotation ramenant l'objet jusqu'à lui (en passant par sa position initiale) » (p. 292).

d. Conclusions

Même conclusion générale que pour les chapitres précédents : les abstractions empiriques, après avoir été « encadrées » par des abstractions réfléchissantes (plus précisément par les schèmes produits par elles ?) deviennent de plus en plus « dirigées » par elles. Au début les sujets constatent certes les rotations ; mais ils ne les utilisent pas, ne leur attribuent pas de signification comme ils le feront ultérieurement. Pour qu'ils le fassent, il faudra qu'ils disposent de schèmes de rotations coordonnés les uns aux autres (comme ceux qui interviennent, par exemple, dans la rotation du biberon).



De manière générale, le passage d'une rotation partielle observée sur l'objet à une même rotation de quelques degrés, mais intentionnelle, suppose une coordination d'actions qui, tout en imitant ce qui est perçu dans le réel (comme la géométrie scientifique des Grecs a commencé par imiter ou par croire imiter la géométrie des objets), y ajoute une part non négligeable de construction active (p. 294).

Au niveau II, cette construction reste limitée et n'aboutit qu'à des rotations partielles.

Le niveau III marque quant à lui un double progrès des abstractions empiriques et réfléchissantes. Pour ce qui est des premières :

[II] est clair que la capacité de prolonger quelque peu une rotation partielle constitue une sorte de généralisation extensionnelle des observables perçus par le sujet lorsqu'il commence à tirer le manche de la barre et cela reste empirique. Mais il y a davantage, si l'on compare les succès de ce niveau III aux échecs du II : il y a une évaluation de la distance entre l'objet et le bord de la table, donc la préhension possible ; autrement dit il intervient un jugement selon lequel une distance trop courte conduirait à un insuccès, celui-ci n'étant pas alors subi comme au niveau II, mais évité, donc compensé par un prolongement de la rotation. Il s'y ajoute, et ceci est fondamental, que cette compensation par augmentation du parcours de la barre implique un début d'inversion de sens dans les mouvements du sujet : pour parvenir à son but, celui-ci est obligé, après avoir tiré à lui le



manche, de le pousser quelque peu de l'autre côté et il va jusqu'à inverser les rôles du manche et de l'autre moitié de la tige. Dès les essais exploratoires de va-et-vient le sujet effectue déjà des allers et des retours, ce qui est une esquisse d'inversion avec en plus une observation des distances. Or, tout cela, donc au total un jeu complexe de compensations et d'inversions ébauchées, comporte des coordinations qui relèvent de l'abstraction réfléchissante (pp. 294-295).

On relèvera dans ce passage, outre ce qui touche aux abstractions réfléchissantes, la présence de la notion de « jugement » appliquée à l'intelligence sensori-motrice⁶⁰.

Au niveau IV les coordinations sont encore plus poussées dans la mesure où les rotations complètes impliquent, pour conserver leur direction, une inversion nécessaire du sens de l'action : tirer le manche d'un côté, puis le repousser de l'autre.

Enfin, « le niveau V marque le maximum de l'inversion de sens des actions, puisque le sujet repousse d'emblée la barre pour amener à lui l'objet par l'autre côté : il semble alors clair que cette coordination nouvelle exige une part notable d'abstraction réfléchissante, car l'on ne voit pas d'où serait tirée la capacité d'une telle inversion si ce n'est de ses préparations graduelles rappelées à propos des niveaux précédents » (p. 295).

Citons pour terminer le dernier paragraphe de cette recherche sur l'abstraction réfléchissante chez le bébé. On y voit Piaget appliquer sa thèse du rôle des négations dans l'équilibration cognitive (thèse étroitement liée aux recherches sur la contradiction et sur la dialectique) :

[L']importance croissante de l'abstraction réfléchissante entre les niveaux I et V se manifeste sous la forme assez frappante (puisque toutes ces conduites ne sont que sensori-motrices) d'un progrès continu dans la capacité d'inverser le sens des actions, donc, si l'on voulait s'exprimer en termes logiques, de compenser les actions positives par les négations correspondantes, ou réciproquement. A cet égard, le niveau I ne connaît que des actions positives (tirer le support entier, le soulever, etc.), les compensations ne consistant qu'en corrections au cours des tâtonnements. Au niveau II, où débutent les rotations partielles, les compensations prennent une forme subjective, consistant à nier ou négliger les échecs, avec donc encore primat de l'affirmation des succès attendus. Avec le niveau III débutent par contre les compensations systématiques ; les distances entre l'objet et le bord adjacent de la table sont évaluées en suffisantes (+) ou insuffisantes (-) et celles-ci sont compensées par un prolongement des rotations partielles, cette continuation exigeant à son tour un début d'inversion des mouvements du sujet : pousser quelque peu le manche de l'autre côté après l'avoir tiré. Au niveau IV, où le sujet reste sur place et ne compense donc plus par ses propres déplacements ceux de l'objet qui s'éloigne sur le côté adjacent de la table, il intervient alors des inversions franches : repousser la barre de l'autre côté après avoir tiré, donc éloigner la barre pour que l'objet se rapproche. Au niveau V l'inversion est encore

⁵⁹ On peut pourtant se demander si la physique contemporaine ne se rapproche pas de la géométrie au fur et à mesure qu'elle fait intervenir des modèles de plus en plus sophistiqués et hautement mathématiques. On peut ainsi imaginer, sans trop tomber dans la science-fiction, des travaux de physique mathématique proposant des modèles de réalités virtuelles, comme le fait de son côté la géométrie. Peut-être a-t-on là un indice de l'enracinement de l'épistémologie piagétienne dans une vision des sciences encore marquée par ce positivisme comtien auquel Piaget s'est par ailleurs opposé.

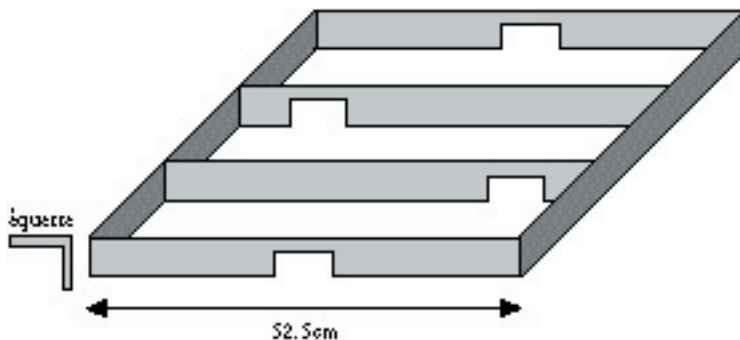
plus nette : orienter d'emblée la barre en direction contraire de celle de l'adduction [mouvement latéral] de l'objet. En un mot il y a progrès d'un bout à l'autre dans les compensations et l'inversion des actions, ce qui comporte des coordinations relevant de l'abstraction réfléchissante et témoignant de ce fait même d'une équilibration entre la différenciation des sous-actions, avec les aspects négatifs qu'elle implique, et leur intégration en un schème total cohérent.

Evidemment, on aurait aimé que Piaget décrive dans le détail comment l'abstraction intervient dans la progression de la coordination des actions, et peut-être dans le passage d'une coordination principalement automatique, non intentionnelle, à une coordination intentionnelle, donc intelligente.

Conclusions de la troisième partie

Pour l'essentiel, ce chapitre expose les particularités de « l'abstraction spatiale » par rapport aux abstractions « physiques » d'un côté, « logico-mathématiques » de l'autre. Pour le spatial, comme pour la physique, ce sont bien des abstractions empiriques qui, avec les abstractions réfléchissantes, interviennent dans sa genèse. Lorsqu'il ne s'agit pas de géométrie mathématique, l'objet est en effet bien extérieur au sujet, et dans les premiers stades de développement de la connaissance géométrique, ce sont ainsi des abstractions empiriques qui font connaître les propriétés spatiales des objets. Mais alors que l'objet de la physique n'est toujours qu'approché par ses modèles, les caractères spatiaux des objets sont « transparents » à la raison. De plus, les abstractions spatiales partagent avec les abstractions logico-arithmétiques la propriété d'introduire la nécessité déductive dans leurs constructions (nécessité qui n'est pas donnée dans les faits). Mais du fait que, selon Piaget, les objets ont des propriétés spatiales mais n'ont pas de propriétés logico-arithmétiques, la connaissance géométrique peut rejoindre les propriétés préexistantes des objets extérieurs, ce qui n'est pas le cas des connaissances logico-arithmétiques⁶¹.

La connaissance géométrique a ainsi le privilège de pouvoir s'appuyer de manière très efficace sur les observables empiriques (« figuratifs »), les transformations géométriques





ques elles-mêmes pouvant être par ailleurs figurées (dans une certaine mesure). Sur le plan de la géométrie, il y a ainsi « union étroite du figuratif et de l'opératif » (p. 299).

Piaget constate aussi que plus on remonte vers la source de la psychogenèse, plus il y a d'indifférenciation du spatial et du logique. Au sensori-moteur, s'il y a bien une logique des actions, celles-ci ont toujours une dimension spatiale. Sur le plan des opérations concrètes, comme il est toujours essentiellement question, non pas de propositions, mais des objets réels, les opérations même logico-mathématiques ne sont pas complètement dissociées de l'espace (additionner par exemple, ce peut être encore, initialement, regrouper des objets en les déplaçant).

L'espace a ainsi pour particularité d'être, du moins au début, « un point de jonction entre les propriétés de l'objet et les opérations du sujet » (p. 300). Dans la suite, tout en restant un médiateur, il se dissocie en deux pôles. La mathématisation de la géométrie fait perdre son importance à l'aspect figuratif (au profit de la géométrie du sujet). Mais dans l'autre sens, il y a un espace de plus en plus lié aux autres propriétés de l'objet physique (cf. la physique relativiste). L'espace, la géométrie jouent ainsi un rôle privilégié dans l'assimilation de la réalité physique, en lui assurant une forte intelligibilité.

Alors que la plus grande partie de ces conclusions particulières est consacrée à la discussion de problèmes qui dépassent le champ des recherches psychologiques exposées dans ces études sur l'abstraction réfléchissante, les deux derniers paragraphes reviennent à l'objet de ces recherches. Piaget rappelle tout d'abord comment celles-ci ont montré un « primat provisoire » de l'abstraction empirique dans les conduites ou les réponses des enfants. Ensuite, il signale que « le sujet tient à vérifier à tous les niveaux la convergence entre les produits de ses abstractions réfléchissantes et les propriétés de l'objet, l'abstraction empirique qui fournit la connaissance de celles-ci étant alors de mieux en mieux affinée par les coordinations inférentielles réfléchissantes ». C'est là une conduite naturelle de contrôle puisque « les propriétés spatiales de l'objet sont données en celui-ci avant que le sujet parvienne à les reconstituer déductivement, d'où le besoin de contrôle, puis, lorsque les inférences commencent à anticiper les constatations, une amélioration de celles-ci » (p. 302 ; l'auteur rappelle ici l'exemple des déplacements des repères sur les cailloux et les chenilles). On remarquera dans la citation précédente cette notion nouvelle de « coordination inférentielle réfléchissante », qui signifie vraisemblablement que les coordinations inférentielles fonctionnent dans le contexte de l'abstraction réfléchissante.

Enfin, la troisième conclusion tirée de ces quelques chapitres consacrés à l'abstraction géométrique porte sur l'abstraction réfléchie qui « commence par être en retard sur ce que produit le processus comme tel de l'abstraction réfléchissante, après quoi elle atteint le même niveau (habituellement au sous-stade IIB des opérations concrètes) et finalement est source de progrès en engendrant des réflexions sur les réflexions, autrement dit un début de pensée réflexive et non plus seulement réfléchie » (id. ; l'auteur mentionne spécialement ici les sujets qui trouvent la raison de l'incompatibilité des deux conservations simultanées dans le cadre de la recherche sur la surface et le périmètre des rectangles).



Conclusions générales

Piaget commence par rappeler les définitions de l'abstraction empirique, de l'abstraction réfléchissante, de l'abstraction réfléchie (le « résultat d'une abstraction réfléchissante », définition un peu statique peut-être), et enfin de l'abstraction pseudo-empirique, cas particulier de l'abstraction réfléchissante (précisons : du point de vue épistémologique, car du point de vue du fonctionnement psychologique, hormis l'organisation préalable que le sujet injecte dans le réel, le processus d'abstraction pseudo-empirique se rapproche plus de celui d'abstraction empirique).

a. Le réfléchissement

Piaget considère tout d'abord « les degrés et la nature » des réfléchissements. Pour les degrés, le premier est celui du passage des actions successives à un début de conceptualisation (exemple : « maintenant je mets un jeton jaune » dans une série de jetons). Le deuxième palier est celui de la reconstitution de toute la suite des actions. Le troisième est celui des comparaisons de l'action totale reconstituée avec d'autres suites d'actions (comparaisons assez systématiquement provoquées dans les présentes recherches). Lorsque des structures communes sont dégagées par de telles comparaisons, les paliers suivants consistent en des réflexions sur les réflexions précédentes. Mais dès lors la réflexion prend le pas sur le réfléchissement (bien qu'à tous les paliers se produise un tel réfléchissement, les instruments d'un palier devant les objets du suivant).

En ce qui concerne la nature des réfléchissements, il convient de souligner que, dès le départ, le réfléchissement d'une suite d'actions exige « une abstraction réfléchissante en tant que réflexion, mais portant sur une 'forme' très élémentaire » (p. 305). En d'autres termes, il faut dès le début que le sujet construise des instruments conceptuels lui permettant de traduire, même très partiellement, l'organisation de son action sur le plan supérieur. Les paliers supérieurs, qui commencent avec la reconstitution de la suite des étapes d'une action, exigent de plus en plus d'abstraction « en tant que réflexion » (id.). Piaget ajoute qu'à chaque pas, le mouvement de réflexion constructrice se traduit aussi par une généralisation par rapport aux pouvoirs d'application des schèmes du palier antérieur. Bref, « les contenus [...] transférés exigent la construction de nouvelles formes dues à la réflexion » (p. 306), formes qui se multiplient alors et concernent soit l'élaboration des structures logico-mathématiques, soit des attributions permettant l'explication opératoire des phénomènes physiques.

Au début de cette construction des formes successives, et jusqu'à celle des opérations concrètes, l'abstraction pseudo-empirique joue un rôle important dans la mesure où les supports concrets sont nécessaires au fonctionnement intellectuel du sujet. Ensuite, le progrès de l'abstraction réfléchissante permettant à la pensée de se libérer toujours plus des appuis concrets, « l'abstraction réfléchie joue un rôle de plus en plus important jusqu'à devenir, au niveau des opérations 'formelles', coextensive en certains cas du processus lui-même des réfléchissements et réflexions » (p. 307).



b. Les créations de nouveautés propres à l'abstraction réfléchissante

En représentant ou en conceptualisant sur un nouveau plan ce qui était inscrit dans l'ordre de l'action, il y a enrichissement. En effet la simultanisation que fournit cette démarche, et les nouvelles coordinations qu'elle rend possibles (et qui s'avèrent d'ailleurs initialement déformantes par rapport à l'ordre reflété), montrent comment les nouvelles constructions ne sont pas un reflet pur et simple de l'acquis antérieur.

Piaget prend pour exemple la notion d'ordre telle qu'elle intervient au préopératoire. Un passage de ce qu'il nous en dit mérite d'être cité, non pas en fonction du problème alors traité (le caractère créatif de l'abstraction réfléchissante), mais parce que ce passage laisse supposer que, lorsqu'il n'est pas attentif à soutenir sa thèse de l'origine totalement endogène des structures logico-mathématiques, l'auteur est prêt à reconnaître l'existence d'un ordre inhérent à l'objet (ceci devant naturellement être pris au sens kantien ou du réalisme critique) :

La notion d'ordre, sous toutes ses formes, constitue ainsi un exemple particulièrement remarquable de construction due à l'abstraction réfléchissante car, comme déjà dit, même pour constater empiriquement l'existence d'un ordre dans une série d'objets (par exemple une suite d'arbres le long d'un ruisseau) il faut utiliser des actions qui sont elles-mêmes déjà à ordonner (déplacements du regard ou du corps, etc.) ! (p. 309).

Dans cet exemple, l'ordre des arbres préexiste aux actions du sujet qui lui permettent de constater cet ordre (à moins que cet ordre n'ait été introduit par des paysagistes, mais ce n'est certainement pas ce que l'auteur avait en vue) !

Quoi qu'il en soit, ce qui intéresse Piaget dans cette section sur les structures d'ordre propres au préopératoire, c'est de rappeler comment ces structures s'enrichissent progressivement au fur et à mesure des constructions de l'abstraction réfléchissante. D'abord il y a les structures de quantification purement ordinales (c'est plus long parce que ça dépasse, etc.). Puis vient la fonction en tant que covariation et dépendance ordonnée. L'auteur note que ce rapport de dépendance ordonnée peut difficilement être tiré d'une autre source que « des coordinations de l'action propre, car les observables physiques ne fournissent que des variations qu'il reste à relier de différentes manières » (p. 310).

Une autre nouveauté est celle fournie par les abstractions réfléchies au moyen desquelles sont décrites les similitudes d'ordre ou de structure entre différentes situations ou suite d'actions coordonnées. Le temps qu'il faut pour dégager ces similitudes et les utiliser dans la résolution d'un problème, les difficultés rencontrées et les étapes franchies par les sujets pour y parvenir, prouveraient eux aussi le caractère constructif de l'abstraction réfléchissante.

Un autre enrichissement est celui qui voit le sujet intégrer les négations dans ses jugements, alors que la tendance initiale est caractérisée « par un primat systématique des affirmations ou des caractères positifs » (p. 311). Piaget rappelle comment initialement ce qui deviendra négation est d'abord simplement conçu comme différent. Or, par le passage qu'elle réalise entre la simple reconnaissance des différences à la conception des négations, l'abstraction réfléchissante fait preuve de création, puisque seule la négation permettra la construction et l'utilisation opératoire des classes (idem pour les sériations). En bref, la négation exige « très effectivement une cons-



truction nouvelle, mais tirée par abstraction réfléchissante des relations qualitatives (compréhension) de différences » (p. 311). Une autre manifestation du caractère constructif de l'acquisition de la négation est la quantification des extensions et la réversibilité opératoire que cette acquisition permet.

Une fois formées, les structures opératoires concrètes vont permettre la construction progressive d'opérations sur les opérations, et donc, à terme, la construction des opérations formelles et l'élaboration d'une pensée réflexive « procédant par hypothèse » (p. 313).

Enfin, l'ultime illustration du caractère créatif de l'abstraction réfléchissante est « la capacité de dégager les ' raisons ' des coordinations jusque-là utilisées sans justification intrinsèque » (id.). « Cette poursuite de la raison des choses (raisons logiques pour les coordinations opératoires et raisons causales lorsqu'elles sont attribuées aux objets) constitue sans doute la différence la plus profonde qui oppose l'abstraction réfléchissante à l'abstraction empirique » (id.).

c. La source des nouveautés. L'équilibration et les rapports entre la compréhension et l'extension des structures

Après avoir décrit différentes nouveautés apportées par l'abstraction réfléchissante, Piaget cherche une explication de la progression en évoquant le processus d'équilibration cognitive. Il rappelle les trois conditions de l'équilibre : 1. une adaptation des schèmes aux objets extérieurs, 2. une assimilation réciproque des schèmes en sous-systèmes et de ceux-ci entre eux conduisant à leur enrichissement et à leur conservation mutuelle, 3. une intégration des sous-systèmes en totalités caractérisées par leurs lois de composition et par une compensation exacte des affirmations et des négations (l'équilibre n'est complètement atteint que sur le plan de la pensée mathématique).

A ces trois conditions correspondent trois sources de déséquilibre possible : 1. conflit entre schème et objet, 2. conflit entre sous-systèmes (par défaut de coordination), 3. déséquilibre entre différenciation et intégration. De manière générale, une source systématique de déséquilibre est due au retard des négations par rapport aux affirmations. Piaget note ensuite comment les coordinations entre schèmes sont source de nouvelles assimilations réciproques possibles, de différenciations et d'intégrations nouvelles.

Les divers paliers de réfléchissement sont permis d'abord par une imitation susceptible de fonctionner de manière différée, puis intériorisée⁶², livrant ainsi les premiers instruments de représentation, renforcés, toujours en partie grâce à l'imitation, par « l'acquisition du langage » (p. 315). Ce nouveau pouvoir de représentation entraîne le besoin de l'exercer, d'où « le palier des représentations se superposant à celui des

⁶⁰ Signalons que Th. Ruysen, un philosophe français de la fin du XIX^e siècle, avait publié en 1904 un essai très fouillé sur l'évolution du jugement – lu par Piaget –, dans lequel il n'hésitait pas à appliquer cette notion de jugement dans le cadre de ce qui sera appelé quelques décennies plus tard l'intelligence sensori-motrice. L'emploi retrouvé par Piaget de la notion ainsi étendue de jugement est certainement lié à l'intérêt porté par lui à la logique des implications entre actions et qui deviendra de plus en plus évident dans ses dernières recherches.



actions » (p. 315). De même, prendre conscience d'un mécanisme de pensée permettant d'atteindre un but « constitue une possibilité ouverte par les variations éventuelles de situations : d'où la thématization d'opérations utilisées comme instruments et devenant alors objets de pensée » (p. 316). Mais ces ouvertures sont aussi source de nouveaux déséquilibres entraînant une nouvelle « équilibration des différenciations et des intégrations » (p. 316) :

L'abstraction consiste, en effet, par elle-même en une différenciation puisqu'elle sépare un caractère pour le transférer et une nouvelle différenciation entraîne la nécessité de l'intégration en de nouvelles totalités sans lesquelles l'assimilation cesse de fonctionner [on ne sait pas trop bien pourquoi !], d'où le principe commun de la formation des nouveautés, l'abstraction réfléchissante conduisant à des généralisations par cela même constructives et non pas simplement inductives ou extensionnelles comme l'abstraction empirique (p. 316 ; à noter cette claire anticipation des recherches sur la généralisation).

Les compensations qui interviennent dans l'équilibration ne procèdent d'abord qu'en écartant l'obstacle, en le négligeant ou en le déformant, formant ainsi une ébauche de négation. Ce n'est qu'ensuite qu'il y a effort de transformer le schème et que la compensation devient donc constructive. Pour qu'un schème puisse s'accommoder, il faut que la transformation nécessaire entre dans ce que l'auteur appelle la « norme d'accommodation du schème » (p. 316). Lorsque c'est le cas, « l'ancien schème est élargi par l'incorporation d'éléments nouveaux en son cycle et cet ancien schème devient un cas particulier du second » (p. 317). Lorsque cela se passe à un niveau d'abstraction réfléchissante où les formes en arrivent à être dissociées des contenus : « la ' compréhension ' d'une structure devient proportionnelle à l' ' extension ' des contenus qu'elle permet d'engendrer, alors qu'au niveau de l'abstraction empirique la proportion est inverse » (id.).

L'affirmation précédente ne prend tout son sens que si on la met en relation avec les recherches sur la généralisation, comme d'ailleurs le passage suivant, qui, comme on le constatera plus précisément dans l'examen de ces recherches, suppose l'existence d'un lien étroit entre l'abstraction réfléchissante et la généralisation dite constructive :

Par contre en abstrayant la soustraction des situations $n - n_9$ ou $n > n_9$ pour l'appliquer aux situations $n < n_9$ et pour engendrer les nombres négatifs (ce qui

⁶¹ La position de Piaget est sujette à discussion. On peut par exemple se demander si l'objet de la biologie, la vie, ne manifeste pas des propriétés arithmétiques (cf. les propriétés mendéliennes de répartition des caractères ou le mécanisme de la reproduction biologique). Ce sont des individus qui sont largement le support des actions biologiques. Une collection (d'individus) est peut-être aussi extérieure, ni plus ni moins, au sujet qui en prend connaissance que la forme géométrique d'un objet. Mais il reste certainement vrai que les formes spatiales des objets ont joué (et, chez l'enfant, jouent) un rôle plus considérable dans la construction des savoirs géométriques que ce n'est le cas pour l'arithmétique ou la logique, domaine où, en effet, les actions du sujet contribuent considérablement à enrichir le réel préexistant (mettre en ordre les objets, etc.). Dès lors, il est plausible que l'abstraction empirique intervienne assez fortement dans les premières étapes de la géométrie, alors que pour l'arithmétique et la logique, c'est l'abstraction pseudo-empirique qui est largement mise à contribution.



a pris quelques bons siècles) on obtient une classe de nombres Z plus riche en extension que les entiers positifs N ; mais dont la structure totale est également plus riche en compréhension puisque les Z forment un groupe et un anneau et les N seulement un monoïde (p. 317).

Piaget note encore, et ceci intéresse directement la généralisation, que s'il y a enrichissement des formes dans le cas d'une classification prenant appui sur l'abstraction empirique, et qu'en dépit de cet enrichissement il y a appauvrissement de la compréhension, c'est que cet enrichissement est déterminé par l'augmentation des contenus considérés (par exemple, tenir compte de la sous-classe des cygnes noirs), alors que dans la création de nouvelles structures, l'enrichissement des formes est au contraire générateur de nouveaux contenus (dans le cas cité ci-dessus, les nombres négatifs).

d. Abstractions empiriques et abstractions réfléchissantes

Dans cette section, la dernière, l'auteur compare à nouveau les deux formes d'abstraction. Il commence en notant que ces deux formes prolongent des mécanismes déjà présents dans la transformation des espèces. Puis il observe qu'au niveau sensori-moteur, l'abstraction réfléchissante porte sur la coordination des schèmes, l'abstraction empirique sur les caractères matériels des objets. Mais à ce premier niveau, la frontière entre les deux est moins nette que par la suite, quoiqu'il existera toujours des liens entre elles, dans la mesure où ce qui est observable peut aussi être inféré et où la distinction forme-contenu est toujours relative.

Par ailleurs, l'abstraction réfléchissante peut devenir indépendante de l'abstraction empirique, l'inverse n'étant pas vrai (l'évolution des sciences physiques montre au contraire la place de plus en plus grande laissée à l'abstraction réfléchissante dans ces sciences, permettant d'ailleurs des abstractions empiriques de plus en plus fines, comme en mécanique quantique).

Cette asymétrie entre les deux formes d'abstraction reflète celle entre l'assimilation et l'accommodation. S'il intervient de l'accommodation dans l'assimilation réciproque des schèmes (support de l'abstraction réfléchissante), cette accommodation ne consiste qu'à différencier l'un ou les deux schèmes en présence, et cela « jusqu'à permettre l'intégration dans le cycle de l'un de certains éléments de l'autre ou jusqu'à les intégrer tous deux en un nouveau cycle total (cas particulier de cet équilibre entre la différenciation et l'intégration qui est sans doute le caractère le plus général et le plus important de l'abstraction réfléchissante). En de tels cas l'accommodation demeure donc endogène et non pas exogène comme lorsqu'elle est imposée par les faits du dehors » (p. 322). L'abstraction empirique repose au contraire sur l'accommodation des schèmes aux objets (y compris le corps propre et ses actions en

⁶² On peut se demander si l'imitation différée n'est pas conditionnée par la production préalable d'une première forme d'imitation intérieure se réalisant lorsque le sujet observait l'action extérieure, mais sans en fournir une imitation extérieure.



leur aspect matériel). Mais cette accommodation-là reste toujours dépendante d'un schème d'assimilation.

Un aspect remarquable de l'abstraction réfléchissante est que tout « nouveau produit de la réflexion ne saurait contredire les précédents » (p. 323). La seule erreur liée à l'abstraction réfléchissante est celle qui consiste à se tromper sur la généralité de ses produits. Ce n'est pas une erreur interne, mais un défaut dans l'application (dans l'abstraction empirique le but est de trouver la propriété d'un objet extérieur, et c'est pourquoi il peut y avoir erreur). En physique, un fait peut contredire une théorie (exemple l'expérience de Michelson-Morley pour la physique newtonienne). La physique newtonienne reste alors partiellement vraie, si l'on néglige un facteur (la faiblesse de la vitesse des objets considérés), qui n'en intervient pas moins. Pour la géométrie euclidienne au contraire, elle est entièrement vraie pour les objets mathématiques qui lui correspondent et qui respectent le postulat des parallèles. Il n'y a pas de contradiction en mathématique, alors qu'une théorie physique peut conduire à des contradictions (dans la mesure où une telle théorie porte par essence sur une réalité extérieure représentée dans des jugements de fait).

On le voit, dans ses recherches sur l'abstraction réfléchissante, si Piaget prend un soin tout particulier à étudier l'activité intellectuelle des sujets interrogés, son but reste pourtant fondamentalement épistémologique, en ce qu'il s'agit essentiellement pour lui de préciser le statut des sciences produites par des mélanges variés des différentes formes d'abstraction⁶³.

⁶³ D'un autre côté, l'intérêt renouvelé porté, dans les années 70, au fonctionnement de l'intelligence et non plus seulement à la genèse de ses structures se reflète dans un élargissement significatif de la notion même d'abstraction réfléchissante. Le mécanisme d'abstraction n'est plus seulement considéré comme conduisant à la construction de compétences opératoires et de connaissances logico-mathématiques structurellement de plus en plus puissantes (par exemple, la découverte de la commutativité de l'addition arithmétique). Il peut également servir à la construction et découverte de lois tout à fait particulières, telles que celle propre à une série arithmétique singulière, issue par exemple de l'application réitérée d'une opération ou d'une procédure arithmétique.













5. Recherches sur la généralisation

Introduction

Piaget présente cette nouvelle série d'enquêtes comme la continuation des recherches sur l'abstraction réfléchissante. Il rappelle que ces dernières ont mis en évidence deux formes générales d'abstraction auxquelles devraient correspondre dès lors deux formes de généralisation. La première, la généralisation empirique, établit le degré de généralité d'une relation observée ; elle est de nature essentiellement extensionnelle. La seconde, dite « constructive », qui s'appuie ou porte sur les opérations du sujet ou leurs produits, est simultanément compréhensive et extensionnelle et aboutit à la production de nouvelles formes et parfois de nouveaux contenus (par exemple, les nombres négatifs). Ces contenus sont alors engendrés par les formes et non pas extraits des observables empiriques ⁶⁴.

Chapitre I : Les généralisations conduisant à « l'ensemble des parties » (avec D. Voelin-Liambey et I. Berthoud)

Dans le passé, Piaget avait fait l'hypothèse que la structure d' « ensemble des parties » était préparée par celle de la vicariance ($A1 + A19 = A2 + A29$, par exemple : les chats + les non-chats = les chiens + les non-chiens). Mais trois ou quatre années au moins séparent leur acquisition. Comment expliquer ce décalage ? Deux conditions doivent être remplies pour passer de l'une à l'autre de ces structures. Premièrement, si la vicariance assure le passage d'une partition d'un ensemble à une autre partition pour aboutir à l'ensemble des parties, le sujet doit considérer simultanément l'ensemble des deux ou n partitions possibles. A s'en tenir au problème le plus simple (celui dans lequel il n'y a que deux partitions possibles en jeu), les jeunes enfants sont-ils capables de les considérer simultanément ? La seconde condition est de pouvoir tenir compte de l'intersection entre les classes ou les parties d'ensemble considérées (les jeunes enfants au contraire ne raisonnent que sur des classes disjointes).

La situation élémentaire en jeu est celle d'une collection composée d'éléments petits ou grands, et ronds ou carrés. Les opérations de classification multiplicatives permettent d'aboutir à un tableau de $2 \times 2 = 4$ casiers ($A1A2$, $A1A92$, $A91A2$ et $A91A92$). Cela exige à chaque fois la considération simultanée de deux partitions. Mais c'est là

⁶⁴ Notons la présence, à la page 7, d'une formule qui rappelle tout à fait la thèse kantienne des conditions a priori de la connaissance. Parlant des formes (classes, prédicats, etc.) qui interviennent forcément dans toute observation, Piaget les désigne comme des « conditions préalables ». Bien que l'idée d'acquisition préalable soit certainement aussi impliquée dans cette formule, c'est surtout la notion de condition logique ou transcendantale qui lui donne son sens le plus profond.



une tâche qui se fait par une liaison en compréhension de deux prédicats. Pour obtenir l'ensemble des parties, c'est-à-dire pour réunir (ou classer) de toutes les manières possibles les casiers de la table, « la signification des réunions en extension est complexe et demande une généralisation des couples de prédicats selon des relations nouvelles » (p. 12). De plus, « ces sous-systèmes de deux ou trois casiers demandent une coordination simultanée d'un plus grand nombre de négations [...] comparer les « carrés » aux « grands » exige l'exclusion des non-carrés d'un côté, et des non-grands de l'autre, casier par casier et toujours conjointement » (id.).

L'expérience avec les enfants se fait avec un matériel permettant trois partitions et non pas deux (aux deux formes et aux deux grandeurs s'ajoutent encore deux couleurs, donc une table de huit casiers). La question posée aux enfants est de trouver le moyen d'avoir la même chose de carrés que de grands, puis de trouver les autres solutions possibles au même problème (l'expérimentateur peut présenter des situations qui aident les plus jeunes enfants à trouver des solutions). Enfin un autre problème consiste à demander aux enfants de trouver une figure qui soit le contraire d'un grand carré vert (et une fois une réponse donnée, demander d'autres contraires et s'il y a une gradation parmi les contraires).

a. Le niveau IA

En qualifiant d'« homogènes » les partitions effectuées au moyen d'un seul critère (par exemple la grandeur), Piaget note que les sujets de ce niveau « ne savent pas encore raisonner en extension sur des partitions hétérogènes et que, pour pouvoir répondre, ou bien ils les remplacent par des partitions homogènes, ou bien ils suppriment momentanément toute partition en fusionnant en compréhension sur les mêmes objets les qualités qui devraient permettre de distinguer les deux classes. En outre et de ce fait même, ces sujets ne peuvent raisonner que sur des classes ou disjointes ou fusionnées, toute intersection leur demeurant étrangère » (p. 15 ; exemple de fusion : « autant de carrés que de grands » devient « les grands carrés », et la fusion se vérifie par le fait que les sujets nient l'égalité d'extension des deux collections sous-jacentes à la collection issue de la fusion).

b. Le niveau IB (6-7 ans)

Les enfants n'arrivent toujours pas à considérer les intersections (lorsque par exemple il s'agit d'ajouter deux ronds rouges à quatre carrés rouges et à quatre ronds verts, un enfant pose l'un des deux avec les rouges, et l'autre avec les ronds, en affirmant qu'il y a cinq rouges et cinq ronds, la rougeur de l'un des deux et la rondeur de l'autre « ne comptant pas », p. 18). De même lorsqu'il est question des contraires, les sujets ne les considèrent toujours que selon un seul critère à la fois. De fait, on ne voit pas très bien pourquoi Piaget a pris soin de distinguer ici les deux sous-stades (sinon qu'il y a des indices d'un début de différenciation, dont par exemple, pour un enfant, ne plus comprendre simplement la consigne : « la même chose de grands et de carrés » comme les « grands carrés », mais aussi distinguer parmi ceux-ci les carrés verts et



les grands rouges, ce qui n'en continue pas moins à signaler l'incapacité de traiter l'intersection).

c. Le niveau IIA (7-8 ans)

Les sujets parviennent à résoudre les problèmes d'inclusion, mais non sans commencer par introduire de fausses disjonctions évitant les intersections (quatre grands carrés et quatre grands ronds, etc.), ou encore d'autres solutions auxquelles s'arrêtent les enfants du niveau précédent. Ce n'est aussi qu'après de longs tâtonnements qu'ils parviennent à résoudre le problème de trouver la même chose de grands et de carrés, mais toujours par des solutions évitant les intersections (exemple : quatre grands ronds et quatre petits carrés). Pour les différences et les contraires, ils sont saisis en compréhension, mais sans maîtrise de l'extension qui, seule, permettrait « le tableau des sous-systèmes correspondant aux partitions hétérogènes » (p. 22).

d. Le niveau IIB (8-9 ans)

Les sujets commencent par accomplir les mêmes erreurs que les enfants plus jeunes du niveau IIA, mais se corrigent plus vite et parviennent enfin à intégrer des intersections explicitement justifiées. Ils parviennent aussi à dénombrer le nombre de cases pour un contraire (par exemple trois figures à une différence). On les voit donc engendrer en action l'ensemble des parties, mais sans simultanisation autre que partielle.

e. Stade III

Bien que les enfants ne soient pas interrogés sur des questions dont la réponse exigerait la maîtrise de l'INRC, la mobilité qu'ils manifestent dans l'engendrement des partitions ou dans les réponses sur les questions des différences et des contraires fait dire à Piaget que la distinction qu'ils font des inverses et des réciproques donnerait facilement lieu « à des inférences conformes au groupe INRC » (p. 25).

f. Conclusion

La vicariance permet de passer d'une partition à une autre (pour deux critères à deux valeurs, cela fait quatre parties). L'ensemble des parties « revient à considérer, non seulement ces quatre parts, mais encore celles qui résultent de leurs combinaisons (0), (1),... (1,2), (1,3)..., (1,2,3) etc. » (p. 25). Les solutions trouvées par les sujets pour trouver autant de carrés que de grands [soit : $n(1+2) = n(1+3)$] sont de trois sortes : « l'identité, consistant à n'utiliser que la sous-classe ou partie 1 en négligeant 2 et 3 ; la disjonction exclusive $n_2 = n_3$ en écartant la partie commune 1 ; et la disjonction non exclusive avec intersection $(1+2+3)$ ou $n(1+2) = n(1+3)$ » (p. 25). Selon Piaget, l'examen de leur ordre de construction éclaire le mécanisme de celle-ci.



Au premier niveau, le sujet ignore la dimension extensionnelle du problème (trouver « autant de ») et ne retient que l'aspect en compréhension, d'où son choix des carrés grands. La solution ne présente dès lors plus aucune difficulté, « puisqu'en compréhension un objet peut se voir attribuer plusieurs qualités sans recourir à des partitions ni à des négations, tandis qu'en extension leur délimitation suppose des partitions forcément hétérogènes (du fait qu'on invoque plus qu'une seule qualité) avec les extensions et les négations qu'elles comportent » (p. 26).

Au niveau IB, la solution est la même, à la différence près que les sujets présentent un début d'extension, mais alors appliquée seulement à la partie 1 (les n grands carrés, dont $n/2$ sont considérés comme carrés et $n/2$ comme grands). Il y a alors « un début de partition hétérogène, mais rendue facile du fait qu'elle s'applique à de mêmes éléments (les carrés grands) et ne comporte donc aucune négation explicite » (p. 26).

Au niveau suivant, des éléments hors de la partie 1 commencent à être pris en charge, ce qui signifie une « constitution de négations [...] mais encore en compréhension, sans réglage des extensions » (p. 26). Seules les disjonctions exclusives ($n_2 = n_3$) sont intégrées, ce que montre le fait que le sujet échoue aux questions d'inclusion (les carrés grands ne sont plus considérés comme des carrés ; quatre petits carrés et quatre grands carrés sont ainsi une solution).

Au niveau IIB, l'extension s'applique correctement aux classes avec intersections ou lors de l'identité (les grands carrés forment deux classes, identiques en extension, mais différentes en compréhension). Enfin la dernière étape est celle de la construction combinatoire de l'ensemble des parties.

Qu'en est-il alors des généralisations ? Quelques-unes d'entre elles sont certes inductives (elles reviennent à appliquer une solution connue à de nouveaux contenus). Mais ce qui est mis en avant, ce sont les généralisations constructives :

[Dans le cas] du passage progressif entre les classes disjointes propres aux partitions homogènes (ou aux groupements additifs) et les liaisons nouvelles qu'exigent les partitions hétérogènes ou finalement l'ensemble des parties, il y a constamment généralisation constructive au sens de la production de nouvelles formes, dont celles de rang inférieur sont les contenus de celle de rang supérieur (1 classe dans les réunions de 2, réunions de 2 dans celles de 3, etc.), de telle sorte qu'on peut parler de la création simultanée de formes et de contenus (p. 27).

Piaget examine en détail les passages successifs. Dans le passage de IA à IB, la nouveauté est le début de mise en extension. Pour distinguer les grands des petits en construisant les grands carrés (idem pour les carrés et les ronds), le sujet utilise un schème de dichotomie. C'est ce même schème qui sera alors utilisé sur la partie des grands carrés pour distinguer (faussement) des grands et des carrés. Ensuite, le même schème de dichotomie sera appliqué non plus seulement aux éléments de 1, mais à d'autres éléments et tout en continuant à favoriser les partitions homogènes (les intersections ne sont pas intégrées). Mais comme il s'agit de concilier ces nouvelles partitions avec la partition déjà existante en grands et en carrés de la partie 1, le réglage combiné des extensions et des négations aboutira dès le niveau IIA à des disjonctions correctes (la partition hétérogène grand-carré s'étend aux parties 2 et 3).

Enfin, dernière étape observée, la nouvelle généralisation consistant à « relier les 'grands' de la classe 1 aux 'grands, mais non carrés' de la classe 2, ainsi que les 'carrés' de la classe 1 aux 'carrés mais non grands' de la classe 3 : d'où la solution de



disjonction non exclusive avec intersection, [qui] constitue une synthèse de l'identité et de la disjonction simple » (p. 28). Quant au passage à l'ensemble des parties, il se fera par considération des partitions hétérogènes quelconques.

Piaget note alors que ces généralisations successives offrent deux caractères « qui tiennent aux rapports entre les différenciations et les intégrations, ainsi qu'entre les compréhensions et les extensions » (p. 29). En ce qui concerne le premier point, le schème de partition hétérogène « est le produit d'une différenciation laborieuse entre les différentes réunions que l'on peut effectuer selon les deux dimensions [...] de la table à double entrée » (p. 29). Mais les différenciations peuvent être imposées soit du dehors (les différences entre contenus), ce qui se traduit par des généralisations extensionnelles, soit au contraire par la nécessité de distinguer de nouvelles formes (le « et » et le « ou » par exemple) sur le plan des significations. Or, « ces variations intrinsèques constituent la source même des généralisations constructives, en tant que chaque signification nouvelle ouvre à son tour de nouvelles possibilités » (p. 29 ; la suite éclaire un peu le rôle accordé ici aux significations⁶⁵).

Les différenciations portant sur les formes conduisent alors à des intégrations génératrices de structures dont la richesse augmente à la fois en compréhension et en extension. Piaget considère pour finir l'exemple du passage de la vicariance à la structure de l'ensemble des parties, et c'est à ce point que l'on voit pourquoi il introduisait la notion de signification dans le passage précédemment cité. Si l'on considère en effet la forme des nouvelles structures (la combinatoire et l'INRC), celles-ci montrent « l'enrichissement en compréhension, l'intégration étant en ce cas 'complétive', et non pas simplement 'coordinatrice', puisqu'elle ajoute des propriétés structurales nouvelles et ne se borne pas à multiplier les emboîtements (comme lorsqu'on intègre une classification pauvre en une autre plus détaillée). Ce double enrichissement en formes et en contenus ne signifie pas qu'au point de vue statique des propriétés déjà construites il y ait exception à la loi de rapport inverse de la compréhension et de l'extension mais que, du point de vue des transformations ou variations intrinsèques, il y a construction corrélative (successive ou simultanée) de formes et de contenus (ceux-ci en leurs réarrangements avec leurs significations différenciées) » (p. 30 ; on comprend mal ce dont il est question avec ces propriétés statiques déjà construites ; peut-être cela s'éclairera-t-il dans les conclusions générales de l'ouvrage).

Chapitre II : Combinaison des longueurs (avec A. Blanchet)

a. Le problème

En partie similaire dans son aspect combinatoire au problème du chapitre précédent, le problème type qui est posé aux enfants est de placer en largeur ou en longueur des rectangles de différentes dimensions (variant entre 10 sur 9 et 5 sur 3) de telle sorte

⁶⁵ On notera ici avec intérêt l'intervention implicite de cette « logique des significations » qui sera explicitement étudiée dans la dernière année des recherches dirigées par Piaget au CIEG.



que, partant d'un certain point de la table, la suite aboutisse à un autre point fixé. Les moyens significatifs de combiner les rectangles sont au nombre de 2^n , avec $n =$ le nombre de rectangles choisis. Ce que l'on obtient alors est un ensemble des parties simplifié par rapport à celui de la combinatoire ensembliste (dont la formule est 2 à la puissance 2^n , les couples, triplets, etc., étant en effet combinés entre eux).

Ne considérer les rectangles que selon l'une de leurs deux dimensions (leur largeur par exemple), ou au contraire pouvoir mélanger largeur et longueur dans la solution est similaire à ce qui se passait dans la recherche précédente (capacité ou non d'établir des partitions hétérogènes).

D'autres problèmes sont posés, dont l'un est impossible à résoudre (le sujet doit alors expliquer l'impossibilité).

b. Les résultats

Les sujets de niveau IA savent, par évaluation perceptive directe des éléments, trouver rapidement le moyen d'atteindre des buts simples (pour un but fixé à 19 unités du point de départ, un sujet pourra placer le rectangle $7/9$, puis le $8/10$ et enfin le $3/6$; constatant qu'il manque une unité, il remplacera le rectangle $3/6$ par un rectangle $4/6$). Ce type de solutions montre aussi que, comme ceux de la recherche précédente, ces enfants n'intègrent pas les deux dimensions : ils utilisent soit la largeur des rectangles, soit leur longueur, sans voir leur lien (et sans utiliser donc la rotation). Ils n'arrivent pas non plus à engendrer l'ensemble des compositions réalisables au moyen des longueurs et des largeurs de deux ou trois éléments.

Au niveau IB (6 ans environ), les enfants procèdent aussi par tâtonnement, mais en utilisant les rotations (par exemple, si on demande à un sujet comment il pourrait atteindre un but plus éloigné, au lieu d'ajouter de nouveaux rectangles, il peut tourner l'un de ceux qui étaient déjà posés, en utilisant sa longueur et non plus sa largeur). Cependant, ils n'anticipent pas encore le résultat précis d'une rotation, et ce n'est « qu'au vu des résultats de son action qu'il refuse, accepte ou généralise de tels essais et dans la mesure où il en est ainsi, il va de soi que la généralisation demeure alors inductive » (p. 37 ; une rotation ayant abouti à un échec, un sujet n'en essayera pas d'autres pour un but donné). Il y a donc absence de compréhension par rapport au détail de l'action de rotation.

Le niveau IIA (7-8 ans) est caractérisé par de premières inférences des sujets par rapport aux effets des rotations, et donc par des débuts de quantification. Comme dans la recherche précédente, les enfants peuvent relier deux « partitions » (les longueurs et les largeurs), mais ils ne cherchent pas encore à les coordonner systématiquement, ni à relier les différentes combinaisons les unes aux autres, excepté occasionnellement et de manière empirique. A ce niveau, qui est celui du début des opérations concrètes, les sujets appuient encore très largement leurs déductions sur le donné extérieur et sur l'abstraction pseudo-empirique, et ils ne parviennent pas à découvrir les raisons de l'impossibilité de résorber une différence de deux au moyen de rectangles dont la différence entre la largeur et la longueur est de trois unités.

Par rapport au précédent, le niveau IIB (9-10 ans environ) se caractérise par d'apparentes régressions, qui s'expliquent par le fait que les sujets essaient de faire intervenir des moyens nouveaux, qu'ils ne maîtrisent encore que très mal. Ils raisonnent et



calculent beaucoup plus, ce qui peut leur jouer des tours. Par contre, leur compréhension de la raison de l'échec au problème impossible est supérieure. Enfin, on relèvera que les progrès de l'activité déductive ne leur permettent pas encore d'engendrer l'ensemble de tous les alignements possibles.

Au niveau III finalement, la déduction est beaucoup plus systématique, et si les sujets peuvent s'appuyer sur l'expérience, et parfois se tromper, ce n'est chez eux qu'une étape très brève qui les aide à engendrer les solutions, et notamment à déduire et trouver l'ensemble de tous les alignements possibles.

c. Conclusions

La première remarque faite par Piaget déborde largement le cadre de ce chapitre. La généralisation et l'abstraction sont des fonctions au sens biologiques du terme. Elles sont donc présentes à tous les niveaux du développement. Si pourtant on peut parler de progrès et de stades à leur propos, c'est que « la fonction de généralisation engendre des structures qui améliorent son fonctionnement, d'où de nouvelles structures et ainsi de suite » (p. 44 ; il est évident que cette thèse peut se généraliser à la fonction d'abstraction).

Ensuite l'auteur s'interroge sur la part respective des deux types de généralisation aux différents niveaux de ce développement, étant entendu que la généralisation inductive « se fonde sur les constatations ou sur le seul résultat des actions, tandis que la constructive généralise les actions elles-mêmes ou les opérations en élargissant et complétant leurs formes antérieures » (p. 44).

La généralisation constatée au niveau IA est de type inductif : les sujets ne font qu'appliquer un schème qu'ils ont acquis depuis la fin du sensori-moteur (aligner des objets pour augmenter une distance). Il y a bien différenciation selon de nouveaux buts, mais non création de nouvelles formes.

Au niveau IB il y a début de généralisation constructive avec l'emploi de la rotation, qui implique une combinaison élémentaire des deux dimensions produisant un enrichissement du schème d'addition des longueurs. Mais la forme ainsi construite n'est encore pour ainsi dire qu'un cadre vide, puisque le sujet s'arrête au seul résultat global du résultat des rotations. Au niveau IIA par contre, la généralisation constructive prend en compte les effets variés des rotations (longueurs et largeurs sont réunies), mais en étant toujours contrainte de prendre appui sur les constats empiriques.

Au niveau IIB, il y a multiplication des déductions et des anticipations, mais les liens établis sont souvent erronés. Au niveau III, la déduction permet des anticipations de plus en plus précises.

Bref, ce que Piaget croit pouvoir constater dans les résultats de cette recherche, c'est la place de plus en plus grande des généralisations constructives par rapport aux généralisations inductives. On regrettera pourtant qu'il n'ait pas cherché à décrire dans le détail le fonctionnement d'une généralisation constructive.



Chapitre III : Formation de couples, triplets, etc., entre nombres successifs (avec M. Lavallée et M. Solé-Sugranes)

a. Le problème

Etant donné un certain nombre de tiges de laiton, le problème pour l'enfant est de lier contiguement ces tiges 2 à 2, ou 3 à 3 ou 4 à 4, etc., avec des élastiques, les tiges faisant une suite sur la table (pour 3 tiges, il faut 2 élastiques pour les lier 2 à 2, pour 4 tiges, 3 élastiques pour 2 à 2, ou 2 élastiques pour 3 à 3, etc.). Tout passage de n -uplet au $n + 1$ -uplet suivant diminue toujours de 1 le nombre d'élastiques nécessaires, et tout ajout $m+1$ à m tiges permet de construire $m+1$ ensembles de plus, donc rendant nécessaires $m+1$ élastiques de plus.

b. Niveau IA (vers 5 ans)

Les enfants parviennent à construire les couples, mais plus difficilement les triplets. En tous les cas, ils se trompent sur le résultat de leur action, et donc sur le mécanisme de celle-ci (par exemple, prenant 3 élastiques pour lier par couple 4 tiges, certains affirmeront qu'il y a 4 élastiques après avoir compté les 4 tiges). Du fait que chaque tige est touchée par un élastique, ils établissent une correspondance terme à terme entre les uns et les autres. Le schème de la correspondance relève, en tant que forme, « d'abstractions réfléchissantes et de généralisations constructives » antérieures (p. 50). Les enfants tendent alors à généraliser l'emploi de ce schème aux observables propres aux situations présentées. Il y a dans cette généralisation inductive un paradoxe. En effet :

[Ces] observables sont, dans le cas particulier, fort mal observés, et cela parce qu'insérés dans un cadre préalable qui ne leur convient pas, mais le paradoxe est justement que le sujet ne prétend nullement raisonner a priori et qu'il croit se borner à dire ce qu'il voit et à généraliser à ce qu'il continue de voir ou à ce qu'il va encore voir, attitude qui demeure donc essentiellement inductive (p. 51).

S'attendant à trouver une égalité, les enfants ne comprennent pas pourquoi il n'en va pas ainsi et ils écartent alors souvent leur propre constat pour affirmer qu'il en faut la même chose (d'élastiques et de tiges).

c. Niveau IB (5-6 ans)

Après avoir constaté ce qui se passe pour des petits nombres de tiges (par exemple pour 3 tiges liées par couple, puis 4 tiges, puis 5 tiges), le sujet parvient à généraliser jusqu'au nombre maîtrisé par lui, par exemple jusqu'à 7 tiges, mais il échoue pour la suite et peut retomber dans l'affirmation d'une égalité de tiges et d'élastiques. L'extension à de nouveaux nombres reste donc faible.



d. Niveau IIA (7-8 ans)

Ce sous-stade révélerait des progrès de la généralisation inductive « et le passage aux débuts de la généralisation constructive » (p. 53). Parmi les conduites de ce niveau, mentionnons celle d'un enfant qui, après avoir construit sans peine les couples de 3 tiges, prévoit qu'il faudra seulement un élastique de plus pour 4 tiges, qui servira à lier la quatrième tige à la précédente. De plus, les sujets parviennent à trouver la raison plus ou moins précise de la loi en jeu (ils peuvent par exemple affirmer qu'il y a moins d'élastiques, parce qu'on prend trois tiges à la fois). Mais ces deux progrès s'appliquent seulement aux cas simples. De manière générale, « ces sujets atteignent par moments un début de généralisation constructive, tandis qu'à d'autres ils se bornent à des généralisations inductives, par simples utilisations des constatations et qui enfin échouent même à trouver les extensions correctes » (p. 55). Dans les situations plus compliquées, ils parviennent certes à réaliser la tâche qui leur est demandée et à décrire un résultat parfois alors déformé. En ces cas cependant, la généralisation reste toujours inductive, « faute d'abstraction réfléchissante actuelle et faute de prise de conscience du mécanisme coordinateur interne qui a permis aux actions d'aboutir » (p. 56). Mais même dans les cas simples, ce n'est qu'exceptionnellement que les sujets atteignent ce mécanisme, d'où une généralisation constructive très partielle, insuffisante à aboutir à la découverte des lois générales en jeu.

e. Niveau IIB (9-10 ans)

Pour les petits nombres d'éléments, les sujets trouvent sans difficulté la raison des constats, et ils anticipent bien ce qui va se passer lors d'ajout d'éléments. Il y a en particulier compréhension rapide, après construction, de la loi pour les triplets (toujours deux élastiques de moins). Ils tirent de leur découverte quant au passage des couples aux triplets ce qui va se produire pour le passage des triplets aux quadruplets, et au-delà. Par contre pour les grands nombres, par exemple pour des collections de tiges de 20 et plus, des problèmes surgissent (mais même l'adulte peut avoir besoin d'une solide réflexion pour anticiper et pour comprendre pourquoi, étant donné 50 tiges, il faut 26 élastiques pour les regrouper par groupe de 25 : pour des regroupements de n il faut $n - 1$ élastiques en moins que d'éléments à regrouper, en l'occurrence $50 - 24 = 26$). Les coordinations en jeu sont encore « insuffisamment dominées » (p. 58), ce qui, dans l'exemple des 50 tiges à regrouper par 25, se traduit par une confusion entre le résultat intermédiaire, 24, et le résultat final qui consiste en 26 élastiques.

f. Stade III

A ce stade, s'il y a des moments inévitables de flottement et de réflexion (ajustement des compétences formelles à la situation particulière), toutes les lois en jeu finissent par être parfaitement comprises. Un sujet pourra dire sans aucun constat que pour des groupes de 25 il faut 24 élastiques en moins parce que pour ce cas « j'ai fait le même raisonnement ». La compréhension, et non pas l'induction, guide l'anticipation. « Ces sujets s'appuient ainsi de façon continue sur le schème même de leurs actions, ce qui leur permet à la fois les anticipations par construction mentale ou représenta-



tive se substituant aux manipulations matérielles et l'explication des coordinations nécessaires fournissant les raisons » (p. 60).

g. Conclusions

Il y a passage progressif des généralisations inductives à des généralisations constructives de plus en plus pures, lorsque les sujets remontent jusqu'au schème de leur action, en tant que système de coordinations. La découverte des raisons constitue alors « le critère authentique des généralisations devenues constructives » (p. 61)⁶⁶. Cette progression de la prise de conscience réagit d'ailleurs en retour sur l'organisation de nouvelles actions, qui resteront indispensables pendant une période intermédiaire à titre de contrôle ou de support de la pensée.

La fin de cette conclusion souligne le rôle de l'ouverture du sujet sur de « nouvelles possibilités » dans la généralisation constructive. C'est parce que les sujets s'interrogeraient spontanément sur ce qui se passerait pour l'attachement par quadruplets, alors qu'ils sont questionnés sur le nombre d'élastiques nécessaire pour des attachements par triplets, qu'ils découvrirait le moment le plus important du raisonnement récurrentiel (le passage de n à $n + 1$). Tant qu'ils ne s'interrogent pas là-dessus (au stade IIB), les généralisations restent essentiellement inductives, basées sur des constats. C'est « cette nécessité liée aux constructions ultérieures, donc à un « tout » virtuel, qui caractérise la récurrence et une forme nouvelle de généralisation devenue ainsi constructive, parce que toujours ouverte sur les futurs possibles » (p. 62 ; les constructions en question sont celles de l'action consistant à lier contiguement les tiges par groupe de quatre, de cinq ou plus).

Chapitre IV : Un raisonnement récurrentiel relatif à des polygones inscrits (avec J. Vauclair)

a. Problème et résultats

Le problème est d'anticiper combien on peut dessiner de triangles (de quadrilatères, etc.) dans un polygone à n côtés (par exemple dans un pentagone, un hexagone, etc.), la condition étant que deux côtés du triangle (ou trois côtés du quadrilatère, quatre pour le pentagone, etc.) soient adjacents aux côtés du polygone.

Au niveau IA, les sujets peuvent dessiner quelques triangles ; mais ils ne peuvent anticiper leur nombre, ni a fortiori celui des quadrilatères. Piaget constate aussi que les enfants dessinent des triangles sans intersection (ce qui va dans le sens des réponses au problème traité dans le premier chapitre : les sujets se donnent des limitations non imposées par la consigne, mais qui simplifient les solutions). Ils croient aussi faussement que le nombre en question dépend de la grandeur du polygone enveloppant. C'est là aussi une « fausse généralisation inductive, dictée par des considérations constructives antérieures et non pertinentes » (p. 66).

Le niveau IB (vers 6-7 ans) se caractérise par des transitions entre les réponses précédentes et la mise en relation du nombre de figures inscrites avec celui des



sommets ou des côtés du polygone enveloppant. Les sujets découvrent en tâtonnant les solutions pour les différents polygones donnés, et peuvent énoncer la loi générale, mais sans que cet énoncé soit stable et qu'ils puissent découvrir les raisons de cette loi. Les constats répétés leur permettent de se libérer de la fausse croyance que le nombre de polygones inscrits dépend de la grandeur du polygone enveloppant, et de relier empiriquement le nombre de solutions au nombre de sommets (un constat tel que « il y a 6T parce qu'il y a 6S » fait alors à leurs yeux office d'explication). Ce n'est que lorsque les sujets, au niveau IIB, parviendront à se représenter les coordinations de leurs actions qu'ils découvriront, mais de manière encore tout empirique, les raisons de l'égalité des deux nombres.

Au niveau IIA (7-8 ans environ), les enfants découvrent empiriquement le nombre des solutions et ils parviennent à décrire les manipulations auxquelles ils ont procédé (ou parfois auxquelles ils vont procéder, les constats sur ce qu'ils ont fait pouvant leur donner un début de méthode) pour tracer les polygones inscrits. Par contre, vers 8-9 ans (niveau IIB), ils pensent avant d'agir, mais sans encore pouvoir atteindre les coordinations nécessaires ou les raisons.

Enfin au troisième stade, c'est-à-dire à partir de 10-11 ans environ, on retrouve la découverte du rôle essentiel tenu par le chaînon central du raisonnement récurrentiel, le passage de n à $n + 1$. Qu'est-ce qui se produit lorsque, par exemple, on passe d'un polygone enveloppant de six côtés à un autre de sept ? On peut faire un nouveau triangle, ou un nouveau quadrilatère avec les côtés voisins du polygone enveloppant. Si on interroge l'enfant sur un polygone enveloppant à 150 sommets, il affirmera que là aussi on pourra inscrire 150 triangles, 150 quadrilatères, etc. En ce cas, on voit comment la généralisation constructive engendre de nouveaux contenus.

b. Conclusions

L'auteur commence par souligner l'analogie des réactions avec celles exposées dans le chapitre précédent. Puis, il explique cette convergence par des conclusions de portée générale et dont la clarté fait qu'il vaut la peine de les citer presque en entier.

Cette convergence remarquable dans les deux évolutions tient naturellement aux relations étroites entre les transformations de la généralisation et les étapes, non seulement de la prise de conscience, mais encore et surtout des formes d'abstraction que celle-ci détermine. Au point de départ (stade I) le sujet ne découvre guère encore que le résultat de ses actes et même d'abord déformé (niveau IA) puis, mais seulement dans la suite, accepté (sous-stade IB) : d'où les abstractions empiriques fausses puis correctes, et des généralisations inductives erronées (rôle de la « place » constamment, mais à tort, généralisé au niveau IA), puis valables, quoique restant très courtes. Et cela sans oublier que toute généralisation inductive suppose un cadre préalable, [...] dont la formation est due à des généralisations constructives, mais antérieures et plus élémentaires. Après quoi, dans la mesure où le sujet prend conscience du déroulement de ses actions réussies (par des abstractions encore surtout empiriques portant sur les manipulations

⁶⁶ On retrouve à nouveau l'importance accordée aux raisons dans la progression des conduites des sujets, et on comprend que Piaget ait pu ultérieurement choisir ce thème pour de nouvelles recherches au CIEG.



comme telles donc matérielles), puis finalement du schème lui-même avec ses coordinations nécessaires (abstraction réfléchissante), la généralisation devient de plus en plus constructive jusqu'à cette capacité surprenante des sujets du stade III de construire des figures nouvelles, à titre de formes et même de contenus non donnés empiriquement. En effet, ces figures nouvelles sont déduites, non pas du matériel, qui ne les contenait pas, ni à partir des constructions antérieures ou de leurs résultats, mais en s'appuyant sur les possibilités ouvertes par celles-ci, ce qui est tout autre chose (pp. 74-75).

Piaget rappelle alors les trois moments du raisonnement récurrentiel : le constat sur n , le passage de n à $n + 1$, et enfin la généralisation sur la suite ; puis il cherche à préciser ce que ces faits nous apprennent quant aux relations entre les deux types de généralisation (et d'abstraction) :

Ces deux types sont en un sens toujours réunis et indissociables (comme le sont en un sens également les abstractions empiriques et réfléchissantes), mais le fait qu'au cours de leur développement ils changent non seulement de proportions, mais encore et surtout de subordinations, empêche de parler d'un processus continu et oblige de conférer aux formes supérieures (ou plus précisément logico-mathématiques à partir d'un niveau de métaréflexion) des généralisations inductives et des abstractions pseudo-empiriques une signification différente de celle des formes initiales.

Au point de départ, nous avons vu que les variétés les plus élémentaires de généralisation inductive (et par conséquent d'abstractions empiriques) supposent déjà un cadre préalable de constructivité (et donc aussi de réfléchissement), tel que la partition des surfaces en secteurs disjoints, et naturellement la triangularité (ne pas limiter les triangles aux équilatéraux), etc. Mais il s'agit de formations antérieures au raisonnement actuel ou plus élémentaires. Si l'on remonte aux sources sensori-motrices on constate que la formation de tout schème d'assimilation est déjà tributaire à la fois d'un facteur constructif (actions du sujet) et d'un facteur inductif (assimilations reproductrices et pour une part généralisatrices). Il y aura donc toujours un préalable de constructivité et de réfléchissement pour toute généralisation inductive et toute abstraction empirique.

Mais dans la suite il faut distinguer deux situations qualitativement et non pas seulement quantitativement différentes. Dans la première (dominante au stade I) la généralisation inductive et l'abstraction empirique fonctionnent de manière autonome, en ce sens que si le cadre mentionné leur est nécessaire, il se borne à permettre ces inférences ou jugements, mais ne les « engendre » pas, leur alimentation n'étant fournie que par les constatations successives du sujet, donc par des observables non déductibles à partir du cadre préalable. Il y a ainsi là une première signification à conférer aux termes d'« inductif » et d'« empirique », qui est d'ailleurs leur sens usuel et propre.

Par contre, lorsque, pour les raisons déjà vues de prise de conscience, l'essor de la généralisation constructive devient possible, elle fonctionne à son tour de façon autonome en ce sens qu'elle en vient à engendrer [...] la constitution, non seulement de nouvelles formes, mais encore de nouveaux contenus (cf. la suite des nombres ou les figures nouvelles de notre stade III) non donnés les uns ni les autres en des observables existant avant cette construction [...] Quant à l'abstraction empirique, elle cesse de porter sur des observables exogènes, elle n'est donc



plus « empirique », mais ne s'exerce plus que sur les contenus engendrés par les constructions du sujet et devient donc « pseudo-empirique » mais à titre de prolongement fonctionnel, sans continuité structurale. En un mot, ni les processus extensionnels, ni les abstractions pseudo-empiriques en ces nouveaux sens ne dérivent des généralisations et abstractions propres à la première situation : il y a entre elles toute la différence qui sépare l'endogène de l'exogène et nier cette différence reviendrait à annuler toute distinction entre la connaissance physique et la connaissance logico-mathématique. Ce qui risque de fausser les interprétations est le fait fondamental [...] qu'il n'existe jamais d'exogène pur, puisqu'il y a toujours nécessité d'un cadre endogène. Par contre, à partir d'un certain niveau, qui est celui de la formalisation, il existe une logique et une mathématique « pures », c'est-à-dire ne recourant plus qu'à la construction endogène sans aucun besoin de contrôle ou de validation exogènes (pp. 75-77).

L'auteur conclut en notant que sur le plan biologique, qui précède et sous-tend les premiers stades psychogénétiques, il n'y a pas non plus d'endogènes purs. Au début de cette longue citation, on aura noté l'affirmation selon laquelle le sujet parvient à « prendre conscience [...] du schème lui-même, avec ses coordinations nécessaires » (c'est la notion de schème comme canevas logique d'une action répétable qui est vraisemblablement utilisée ici). Plus tard, lors des recherches sur la logique et la dialectique des significations, Piaget affirmera de même que les implications entre actions ne peuvent être contradictoires. Peut-être a-t-on là un indice de la certitude que, pour lui, la nécessité logico-mathématique s'enracine dans une forme de nécessité interne à la réalité biologique.

Chapitre V : La récurrence dans la somme des angles d'un polygone convexe (avec J. Cambon et J. Cuaz)

a. Problème et résultats

Le sujet doit juger ce que l'ajout d'un nouveau sommet à un polygone convexe produit sur la somme des angles internes de celui-ci (cette somme augmente à chaque fois de 180 degrés, puisque cette opération revient en effet à ajouter un triangle). L'intérêt de cette recherche est de voir apparaître aux niveaux IB et IIA un conflit systématique entre la généralisation inductive fondée sur « les angles du polygone évalués perceptivement » (p. 80) et la généralisation constructive « s'appuyant sur la décomposition en triangles (ceux-ci étant de $n - 2$ quand le nombre des côtés est de n) » (id.). Pour les sujets les plus jeunes, les questions sont formulées en terme de ronds et autres formes (le nombre de cercles ou de demi-cercles que cela fait, etc.).

Les enfants de niveau IA parviennent à généraliser, après constat, que pour un triangle, cela fera une « moitié de rond ». Ils prévoient aussi que, pour les quadrilatères, cela fera plus (la solution la plus simple revient alors à dire que cela fera un rond). Puis, au niveau IB (6 ans environ), ils admettront que si on va plus loin que le quadrilatère, la somme totale des angles fera plus qu'un rond. Il y a alors début de quantification, un sujet pouvant par exemple affirmer qu'il y a des « morceaux en plus ».



Au niveau IIA (7-8 ans) la quantification de la somme se précise et des déductions correctes apparaissent. Un enfant pourra par exemple soutenir que, puisqu'un quadrilatère contient deux triangles, et qu'un triangle vaut un demi-cercle, le quadrilatère devrait faire un cercle. Mais d'autres formes conduisent à des estimations qui restent approximatives, à côté de jugements corrects fondés sur la déduction. Par exemple, si le sujet s'aperçoit que le pentagone est composé de trois triangles adjacents, il pourra en conclure que la somme de ses angles est égale à la somme des trois triangles adjacents (soit un cercle et demi) ; mais comme par ailleurs le pentagone est vu comme ayant quatre côtés, comme un quadrilatère, auquel on ajoute un cinquième sommet, et que l'on n'a pas le moyen de mesurer combien vaut l'angle situé à ce sommet, l'enfant conclura que la somme des angles du pentagone fait un peu plus d'un cercle, mais qu'on ne peut pas savoir exactement combien de plus (après suggestion, il peut toutefois voir que c'est un triangle qui s'ajoute au quadrilatère, lui-même déjà reconnu comme somme de deux triangles). Pourtant les mêmes enfants parviennent à généraliser si, au lieu d'ajouter un sommet à un polygone, on se contente de juxtaposer un nouveau triangle à des triangles déjà regroupés (adjoindre un nouveau triangle entraîne toujours l'addition de 180 degrés ou d'un demi-cercle à la somme des angles des triangles précédents).

Au niveau IIB (9-10 ans), les enfants parviennent à trouver certaines des lois en jeu après tâtonnements. On constate aussi que si, avec le pentagone et dans un premier temps, ils peuvent avoir la même réaction que celle des enfants du niveau précédent, dès qu'ils aperçoivent la décomposition en triangle, ils se corrigent et rejettent complètement leur première réponse.

Enfin au stade III, les sujets considèrent le plus souvent spontanément la décomposition des polygones en triangle, et tous parviennent à découvrir la loi de récurrence entre le nombre de côtés (ou de sommets) des polygones et le nombre de triangles adjacents qu'ils contiennent ($n - 2$ triangles).

b. Conclusions

La première loi de récurrence a été découverte au niveau IIA : en augmentant d'un côté un polygone, on augmente d'un demi-cercle la somme de ses angles. La seconde loi est que la somme des demi-cercles est égale à la somme totale des angles du polygone. Or cette seconde loi, en apparence immédiatement impliquée dans la première, n'est acquise qu'au niveau IIB (au niveau IIA les enfants tendent à considérer encore isolément les angles du polygone, qui ne peuvent alors être additionnés que par estimation qualitative). Dès le niveau IIB par contre, la méthode des triangles l'emporte. Mais il faut attendre le stade III pour que soit formulée la loi générale : $n - 2$ triangles pour n côtés, tirée par « abstraction réfléchie à partir des coordinations internes nécessaires à la construction en action » (p. 89).

L'opposition entre généralisation empirique et généralisation constructive est particulièrement visible dans cette recherche dans la mesure où, au niveau IIA, la première empêche la découverte, par la seconde, de la solution adéquate.

En effet, admettre qu'on puisse atteindre la somme des angles d'un polygone au moyen des triangles disjoints qu'on y inscrit, c'est substituer à des observables directs, à la fois donnés et évaluables perceptivement, un jeu de constructions tel



que par inférences successives on introduise dans l'objet de nouvelles formes et de nouveaux contenus, pour en tirer déductivement ce que l'on devrait et pourrait même y voir intuitivement (p. 90).

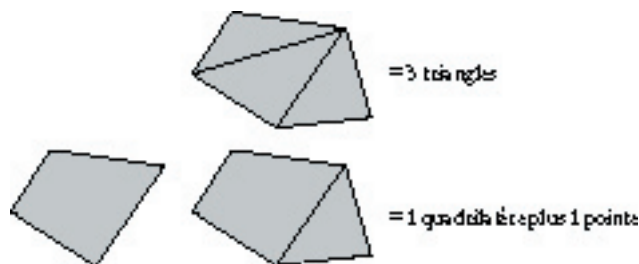
Si les sujets du niveau IIB dépassent ce conflit, c'est en raison des « progrès d'une prise de conscience qui finit par atteindre les coordinations internes de l'action (id.). Là à nouveau, ce qui est le plus important dans la généralisation constructive en jeu, c'est la découverte du mécanisme ou de la raison du passage de n à $n + 1$. « En un mot – conclut Piaget – le raisonnement récurrentiel est un exemple typique de la généralisation constructive en tant que se fondant sur les structures encore à construire et non pas seulement sur les constructions initiales » (p. 91).

Chapitre VI : L'allongement des périmètres (avec A. Bullinger et P. Mengal)

a. Le problème

Piaget revient sur les deux formes de généralisations extensionnelles dont il a été question au chapitre IV, la première découlant de la généralisation inductive, la seconde résultant de la généralisation constructive et des contenus engendrés par une déduction en compréhension. C'est le rapport entre compréhension et extension qui est au centre de la présente recherche.

Le problème traité est celui, par exemple, de l'allongement du périmètre d'un cercle lorsqu'on augmente son rayon de n cm (cet allongement reste le même quelle que soit la grandeur du cercle, ce qui est contre-intuitif, mais s'impose immédiatement si l'on a en vue la formule de la circonférence, $c = 2\pi r$, qui ne fait nullement intervenir cette grandeur). Le matériel utilisé est soit des cercles soit des carrés ou un rectangle.



b. Les résultats

Au niveau IA, l'expérience n'a pas de signification. Par contre dès le niveau IB (6-7 ans), les enfants s'attendent à ce que le fil qui permettra d'entourer le périmètre lors de la substitution d'un jardin initial à un autre (de 1 sur 1 à 4 sur 4 par exemple) devra être plus grand. L'expérience démentant cette prévision, ils se plient sans résis-



tance au constat et ils généralisent inductivement à ce qui se passera si on agrandit encore le jardin original. Le fait marquant ici est la rapidité avec laquelle les enfants se plient à l'expérience (avec quelques limites tout de même).

Au niveau IIA, les enfants se centrent sur les étapes de leur action, « mais sans atteindre les coordinations internes, donc les raisons nécessaires » (p. 96). Quant aux réactions des enfants au démenti apporté à leur prévision par le constat de l'invariance du périmètre ajouté, elles sont de deux sortes. Soit les enfants, extrêmement surpris, avouent ne pas comprendre, soit ils évoquent l'identité de la largeur de la ficelle utilisée pour mesurer le périmètre, qui n'a rien à voir avec l'invariance qui leur fait problème, ou encore l'invariance du mesurant qui expliquerait mystérieusement celle du mesuré. Pour ce qui est des très grands ronds ou des très grands carrés, la prévision des enfants retournent à la croyance initiale, ou alors si les plus avancés de ce niveau généralisent, c'est avec beaucoup d'hésitation.

Au niveau IIB, il y a généralisation aux objets non manipulables, mais non encore fondée en raison. Piaget observe aussi que la variance des âges pour les niveaux IIA et IIB (et pour cette recherche) est assez grande. Cela tiendrait selon lui au caractère complètement contre-intuitif de ce qui se passe.

Enfin, le stade III se caractérise par la découverte de la raison de l'invariance. Un sujet affirmera par exemple, pour un agrandissement de 1 cm de hauteur par rapport à l'ancienne périphérie : « Heu... environ 8 cm et pour un côté 2 cm, puisqu'on a 1 cm de chaque côté et il y a 4 côtés ». Après coup, il se dit sûr de cela, et il soutient que pour un carré initial de 1, il faut aussi « ajouter 8, c'est pareil, on a ajouté 1 cm autour » (p. 101). Les sujets de ce niveau généralisent aussi aux formes rondes, encore que certains n'en reconnaissent pas moins que cela reste étrange (la raison trouvée pour le carré ou le rectangle n'explique pas sans autres ce qui se passe pour les formes circulaires).

En bref, à ce stade, la généralisation extensionnelle à laquelle procède le sujet est déduite de la compréhension du processus d'allongement du périmètre.

c. Conclusions

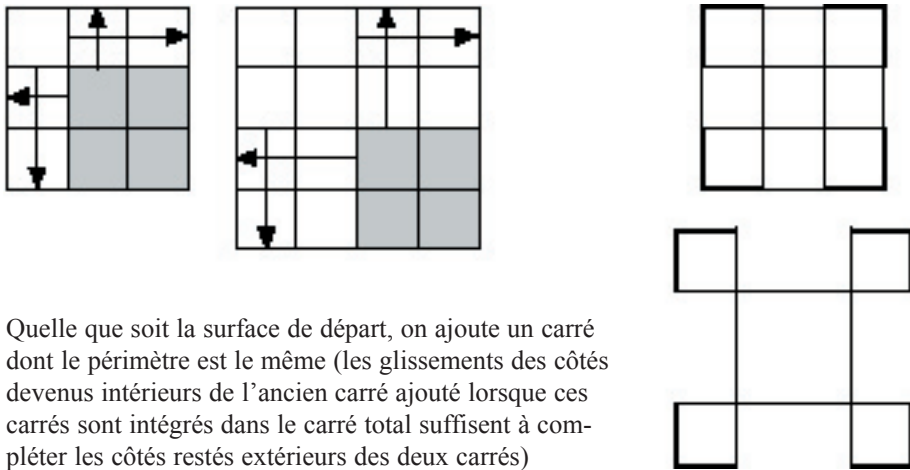
Le choix des indices varie aux différentes étapes. Lors de la première, c'est la grandeur de la surface de l'objet qui est choisie et qui oriente les prévisions des sujets. Au stade II, c'est la longueur du périmètre initial qui est adoptée comme indice pour les prévisions, étant alors conçue à tort comme proportionnelle à la surface de l'objet, ce qui induit à nouveau des prévisions erronées. Au stade III, c'est le périmètre, alors dissocié de la surface, qui sert d'indice pour les anticipations, mais un indice qui est alors considéré comme non réductible aux observables « en ce qu'il s'agit de le calculer, donc de le construire déductivement et non plus seulement de l'enregistrer perceptivement » (p. 103).



Pour ce qui est des indices choisis après la constatation de l'invariance de l'augmentation du périmètre par rapport à sa longueur de départ, il y a là aussi passage d'une pseudo-compréhension se réduisant au constat des propriétés de l'objet, à une « compréhension déduite par construction » (id.). Au stade I, la propriété est simplement constatée. Au stade II, une régularité non pertinente, la largeur invariante de la bande entourant l'ancien périmètre, est évoquée pour rendre compte de l'invariance.

Au stade III, cette largeur devient explicative parce qu'elle est intégrée « en une déduction de la longueur des côtés : en ce cas les propriétés en compréhension dépassent les observables en devenant ainsi produits de construction ou de reconstruction, ce qui modifie leur statut en y introduisant la part de nécessité qui leur manquait jusque-là » (p. 103).

En bref, jusqu'au niveau IIA la généralisation extensionnelle serait indépendante des constructions sous-jacentes. Au niveau IIB, cette extension déborde le champ des seuls objets manipulables, mais continue à être essentiellement inductive. Au stade III la situation est renversée : « c'est désormais la signification en compréhension qui, en introduisant une nécessité authentique, commande l'extension, le caractère



Quelle que soit la surface de départ, on ajoute un carré dont le périmètre est le même (les glissements des côtés devenus intérieurs de l'ancien carré ajouté lorsque ces carrés sont intégrés dans le carré total suffisent à compléter les côtés restés extérieurs des deux carrés)

nécessairement invariant des ajouts devenant ipso facto ' toujours constant ' » (p. 104).

La fin de ce chapitre contient des conclusions qui ont une portée générale et font bien comprendre le sens des recherches sur la généralisation :

Il n'est [...] pas exagéré de se refuser à considérer l'extension des généralisations constructives comme dérivant structurellement des généralisations inductives ou purement extensionnelles antérieures : si continues soient-elles du point de vue fonctionnel (comme le montre le niveau IIB), elles témoignent quant à leur structure logique, de toute la différence qui oppose l'endogène à l'exogène. Autrement dit, le développement en jeu ne consiste pas en une intériorisation de



l'exogène en endogène, mais (et cela en vertu de l'intériorisation propre à la prise de conscience dans la direction des coordinations intrinsèques de l'action, ce qui n'est nullement pareil) il constitue un remplacement progressif de l'exogène par l'endogène, ce dont témoigne d'ailleurs toute l'histoire de la géométrie et même en bonne partie de la physique (p. 104).

Chapitre VII : Le plus court chemin entre deux plans perpendiculaires (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher)

a. Le problème

Dans ce chapitre, il est surtout question de la nature des différenciations et intégrations propres aux généralisations constructives. Le problème posé aux enfants est de trouver le plus court chemin entre une « salade » se trouvant sur une surface horizontale et un « escargot » se trouvant au haut d'un mur, perpendiculaire à cette surface. Pour obtenir la solution, il suffit de rabattre le mur, de tirer une ligne droite, de redresser le mur ; l'escargot n'a plus qu'à suivre la ligne ainsi tracée.

b. Stade I (5-6 ans)

La longueur du chemin est jugée dépendre aussi bien de l'action à engager que de la représentation de ce chemin (suivant souvent la perception la plus simple). En IA les trajets peuvent être aussi bien courbes que droits, et de plus l'escargot qui descend verticalement le mur puis qui vient en ligne droite peut être jugé suivre un chemin plus court par un sujet qui n'en considère que la portion verticale, alors effectivement plus courte qu'une descente en oblique.

En IB, les enfants oscillent entre des réponses de niveau IA et la solution correcte. Le trajet droit obtenu une fois le mur rabattu est correctement jugé plus court. Mais lorsque le mur est redressé, le sujet peut juger qu'un autre trajet est plus court (il y a donc non conservation lors d'un rabattement !).

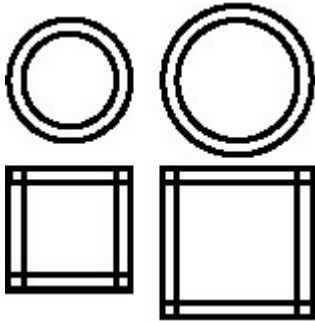
Pour réussir, le sujet devra coordonner le trajet total avec ses deux sous-trajets, ce qui n'est pas le cas au niveau IA (où seuls sont pris en considération les deux sous-trajets conçus successivement, l'escargot étant alors supposé d'abord suivre le bord du mur jusqu'à ce qu'il soit en face de la salade, puis se diriger vers celle-ci). Au niveau IB, le sujet cherche une solution qui tient compte aussi du trajet total, ce qui l'amène vers des solutions proches de la bonne. Trois systèmes de points de vue peuvent en outre être considérés : le premier, selon l'escargot qui vise sans autre la salade ; le second, selon le point de vue de l'observateur, point de vue qui peut soit utiliser la visée (ce qui peut aboutir à une coïncidence avec la visée de l'escargot) soit avoir en vue les deux segments successifs sur les deux plans ; enfin, le troisième point de vue est



celui, métrique, de la géométrie des rabattements. Chez les sujets du premier stade, il y aurait de constantes confusions entre les trois systèmes.

c. Stade II

Au niveau IIA, un palier d'équilibre est provisoirement atteint qui serait dû à la fois à une « coordination des segments en un tout métriquement égal à leur somme et [...] une coordination des points de vue [des trois systèmes] » (p. 109). Les sujets de ce niveau admettent en effet que le trajet le plus direct qui apparaît lorsqu'on rabat le mur conserve sa longueur lorsqu'on redresse ce mur, et donc qu'il reste le plus court. Cependant cette certitude sera remise en question au niveau suivant par l'intégration de composantes due à une analyse plus poussée de la situation.



La largeur de la bande est égale à la longueur des côtés des 4 petits carrés. Par contre pour le cercle, c'est difficile à expliquer (sauf par approximation à partir de polygones tendra que « la ligne change de longueur quand c'est couché et quand c'est debout » (id.).

Au niveau IIB en effet, tout en admettant que si le mur est couché, la distance la plus courte est bien celle de la ligne droite, les sujets se demandent si le fait que le mur est debout ne permet pas la présence de plusieurs chemins plus courts. Un sujet ira même jusqu'à répondre affirmativement à une question sur le changement de longueur des traits, mais en précisant de manière apparemment contradictoire : « c'est la même longueur [plié ou non plié], seulement [les traits] changent de position » (p. 112). Un autre sou-

Piaget explique ces réponses par un début de coordination entre le déplacement intrinsèque de l'objet (la ligne suivie par l'objet) et le même déplacement « perçu projectivement » (p. 113) : « si un trajet T1 paraît plus court que T2 en une situation et plus long en une autre, et si les divers points de vue différenciés sont légitimes, il ne reste [...] qu'un procédé de coordination, qui est de les considérer comme égaux, mais alors moyennant une compensation dans les variations de leurs segments respectifs » (id.).

Il y a donc progrès de la différenciation des points de vue, mais il reste à coordonner le point de vue projectif, dans lequel les longueurs ne sont pas conservées, avec le point de vue métrique (et en particulier avec l'isotropie de l'espace euclidien).



d. Stade III (11-12 ans environ) et conclusions

Les sujets dessinent d'emblée le chemin correct. La différence avec le niveau IIB est que les sujets sont maintenant plus sensibles à la nécessité de fournir une preuve de la valeur de leur réponse.

Dans cette situation l'extension maximale est acquise dès le niveau IB : le chemin le plus court est une droite. La généralisation constructive consiste à l'appliquer à des situations où les droites ne sont pas immédiatement visibles (les trajets se faisant sur des surfaces orientées différemment. En ce cas, le sujet devra réaliser des différenciations et des intégrations sur la nature desquelles Piaget s'interroge alors. Au début (au niveau IB), les différenciations sont elles aussi empiriques, c'est-à-dire imposées par l'extérieur, aussi serait-il, selon lui, plus juste de les appeler des dissociations. Les sujets apprennent à distinguer les différences et les ressemblances entre les différentes situations.

Dès le niveau IIA, certaines différenciations apparaissent, qui sont certes aussi basées sur des observables, « les relations spatiales étant communes à l'objet et au sujet, mais [qui] les enrichissent de propriétés construites par ce dernier » (p. 116). L'auteur donne l'exemple du sujet qui, tout en regardant de côté la ligne, tracée sur le mur puis sur la planche, qui relie l'escargot sur son mur et la salade sur la planche ne la voit pas droite, sait aussi que vue de face, elle lui paraît telle. De même, si la scène qui apparaît à la vue lorsque le mur est couché ou lorsqu'il est debout n'est pas la même, le sujet n'en affirme pourtant pas moins que la longueur de la ligne parcourue par l'escargot reste la même (même si elle est ou apparaît brisée). Les différenciations en jeu sont liées à « une composition de transformations et d'invariances, ce qui revient à dire qu'il s'agit cette fois de ' variations intrinsèques ' inhérentes à un système et comportant ainsi une part d'intégration » (p. 116).

Au niveau IIB la progression des différenciations et des intégrations conduit à un paradoxe :

[...] du fait que les segments varient selon les chemins proposés et qu'ils paraissent varier selon que le mur est vertical ou rabattu, ces sujets en viennent à l'idée, très opératoire et notamment indispensable dans les questions d'invariance, que les variations pourraient se compenser. Mais au lieu d'appliquer le schème à un problème de conservation (par exemple à l'isotropie de l'espace sans laquelle les solides se déformeraient sans cesse) ils cherchent à l'attribuer à des trajets différents dans l'hypothèse qu'on pourrait les démontrer égaux (p. 116-117).

L'intégration tentée au moyen de compensations faussement appliquées est au contraire réussie « lorsque le sujet comprend (en actes ou en paroles) l'isotropie de l'espace » (p. 117). Les sujets de ce niveau peuvent aller jusqu'à affirmer que, même dans le cas du mur placé verticalement, la ligne tracée par l'escargot « est toujours droite, elle n'a pas changé [...] dévié » (id.). C'est seulement une fois admis le principe de l'indéformabilité des systèmes spatiaux par rapport à leur orientation « que la métrique des chemins ' suivis avec un objet ' [...] est conciliable avec les modifications projectives, les divers points de vue devenant ainsi à la fois différen-



ciables, mais par des compositions de variations ‘ intrinsèques ’ et intégrables en un tout cohérent » (id.).

Chapitre VIII : Différenciations et intégrations en des effets mobiles de superpositions (moirés) (avec E. Ackermann-Valladao et M. Flückiger)

a. Le problème

Le dispositif est formé de deux ensembles ou grilles formés chacun de tiges noires, droites et parallèles (un, deux ou un nombre plus élevé de tiges par ensemble) ; le premier est immobile, le second coulisse sur le premier selon des angles variés. Les effets produits par ce glissement peuvent être nuls, statiques (des carrés ou des losanges), ou encore cinétiques (déplacement de losanges, etc.).

On peut faire ainsi coulisser de droite à gauche ou de gauche à droite une grille d’horizontales sur une grille d’horizontales, une grille de verticales sur des horizontales immobiles (ce deuxième mouvement produit des carrés apparents), des horizontales sur des verticales immobiles (idem), des verticales par rapport à des verticales immobiles ($II \rightarrow II$ ou $II \leftarrow II$, ce qui produit des alternances de bandes blanches et noires), ensuite des verticales sur des obliques immobiles orientées à gauche ou à droite (ce qui entraîne des losanges qui montent si l’orientation aussi bien que le mouvement vont de la gauche vers la droite, ou encore si le mouvement et l’orientation vont tous deux vers la gauche, ou au contraire qui descendent dans les deux autres cas, quand obliques et mouvement sont de sens contraire).

b. Les résultats

Au niveau IA, il n’y a aucune anticipation correcte (ce qui est compréhensible si on a en vue les anciennes recherches sur l’image montrant la difficulté de lier des états figuratifs aux mouvements qui les produisent). Dès le niveau IB, les enfants anticipent les cas les plus simple (notamment des verticales se déplaçant par rapport à des verticales). Mais ils ne peuvent pas expliquer pourquoi il en va ainsi. Par contre les sujets de ce niveau arrivent très bien à décrire les résultats produits dans les différentes situations.

Le niveau IIA (7-8 ans environ) se caractérise, dès l’anticipation, par un début de recherche d’explication des mouvements apparents (des losanges). Les enfants évoquent par exemple le mouvement des traits verticaux avançant vers les obliques. Ils prévoient aussi que si l’on inverse le sens du mouvement, les losanges se déplaceront dans l’autre sens. Ils recherchent au niveau des observables ce qui peut expliquer



ces mouvements. Ils n'intègrent pas dans leur explication le fait que les tiges du système se déplaçant soient horizontales ou verticales (ce qui se traduit par des losanges immobiles ou en déplacement apparent). Les compositions explicatives restent donc incomplètes.

Vers 9-10 ans (niveau IIB), les sujets essaient d'intégrer à leur explication l'orientation verticale ou horizontale du système de tiges parallèles se déplaçant en dessus des obliques immobiles.

Enfin, les sujets du stade III se distinguent des précédents en considérant les mouvements produits comme des mouvements simplement apparents, « résultant du déplacement de l'ensemble des intersections » (p. 131).

c. Conclusions

Les sujets du stade I ne peuvent anticiper les cas les plus simples (la superposition et la juxtaposition de lignes). Mais, après diverses constatations, quelques-uns peuvent tirer certaines régularités. Une preuve que l'on a affaire à de simples généralisations empiriques tient au fait que les généralisations sont plus faciles dans le cas où il y a un grand nombre de lignes que si la situation n'en contient qu'une ou deux pour chacun des deux systèmes (dans ce dernier cas en effet, « il faut trouver leurs relations et préciser la composition comme telle » (p. 132).

Par contre au niveau IIA apparaît une « généralisation complétive » due au fait que les sujets considèrent le mouvement par lequel les figures sont engendrées. Mais ils lui accordent alors une attention trop exclusive, ce qui les empêche de prévoir le rôle joué par l'orientation verticale ou horizontale des tiges parallèles du système se déplaçant sur les obliques.

L'étape ultérieure (IIB) consiste au contraire à distinguer le cas où le mouvement du système en déplacement se fait en prolongement de ses traits, ou au contraire perpendiculairement à eux (ceux-ci sont alors verticaux).

Cette recherche étant supposée mettre en évidence le double mouvement de différenciation et d'intégration par lequel les sujets passeraient des simples généralisations inductives aux généralisations constructives, citons la partie des conclusions la plus explicite sur ce point :

[...] On retrouve en cette évolution l'un des caractères essentiels de la généralisation constructive (laquelle ne fournit au début que des cadres conceptuels à l'inductive, puis prend son essor autonome dès les compositions du niveau IIA) : la différenciation et l'intégration des actions. La première consiste en une suppression de proche en proche des limitations précédentes ou, si l'on préfère, en une négation de l'unicité (exclusivité) de la possibilité antérieure au profit de la plus voisine : pas seulement superposition mais aussi juxtaposition ; pas seulement ces deux liaisons, mais aussi croisements entre perpendiculaires ; pas seulement entre celles-ci, mais intersections avec des obliques ; pas seulement



l'orientation des traits en B mais la direction de T, puis l'orientation en T et enfin la différenciation des mouvements apparents et réels, par composition générale des intersections. Or ces négations ou suppressions des limitations précédentes ne sont d'abord qu'imposées du dehors, les nouveaux dispositifs infirmant ou modifiant les prévisions tirées des précédents mais elles sont ensuite construites par le sujet, par simple déduction ou lorsqu'il s'agit de comprendre des résultats imprévus.

Quant aux intégrations répondant à ces différenciations, on retrouve en petit les variétés logico-mathématiques usuelles de la construction des structures : sous une forme implicite le produit cartésien de toutes les « variations intrinsèques » du système, donc de celles que le sujet a peu à peu différenciées ; sous une forme un peu moins implicite les ensembles quotients ou classes d'équivalence, en fonction des analogies ou morphismes peu à peu découverts ; et sous une forme un peu plus explicite l'« algèbre des opérations », c'est-à-dire l'ensemble des raisons qui, aux yeux des sujets des stades II et III, rendent nécessaires les liaisons demeurant jusque-là de simples observables (pp. 133-134).

Chapitre IX : Un problème de mouvements relatifs (avec C. Kamii, E. Dekkers et S. Dayan)

a. Le problème

Le problème posé aux enfants est celui d'une planche que l'on pousse soit sur un rouleau cylindrique, soit sur un bâton à section carrée, soit sur un prisme octogonal, eux-mêmes mobiles sur la table (sauf en un cas où le prisme suspendu à un support tourne sur lui-même). Les sujets doivent prévoir jusqu'où avancera le rouleau, la planche étant supposée atteindre un point fixé. Après cette anticipation, les sujets sont priés de constater ce qui se passe, puis d'expliquer les faits observés.

b. Les résultats

Tous les sujets du stade I (4-6 ans) admettent après constatation que la planche ira toujours plus loin que le rouleau, « mais il ne s'agit encore que de la généralisation inductive d'une relation qualitative » (p. 138). Certains sujets de niveau IA peuvent même supposer que le rouleau recule lorsque la planche avance (et lors de la constatation ils peuvent déformer ce qu'ils voient). Au niveau IB, les deux mouvements sont toujours considérés comme indépendants l'un de l'autre (par exemple la planche dépasse le rouleau parce qu'elle est plate et que le rouleau est rond). Il n'est pas encore question de mouvement composé.

Au stade II, les mouvements des deux mobiles sont conçus comme solidaires, mais sans que les enfants comprennent encore leur lien. Il y a aussi un début de quantification des dépassements et les sujets parviennent même à constater que la planche



va deux fois plus loin ou fait le double de chemin, et à prévoir qu'il en ira ainsi dans la suite.

Les sujets de niveau IIB se distinguent de ceux du niveau IIA par des repérages plus précis et ils commencent à tenir compte de la présence de deux systèmes de référence. La généralisation inductive (le double de chemin) devient dès lors plus ferme, et ils ne cèdent plus aux contre-suggestions de l'adulte. Par contre, s'agissant de la raison de cette loi de 2/1, ils ne vont guère plus loin que ceux du niveau IIA, qui déjà avançaient comme « explication » le fait que le plateau roule sur son support, qui lui-même avance sur la table.

Au troisième stade enfin, l'examen de ce qui se passe avec l'octogone suspendu sur un support permet au sujet de comprendre pourquoi la planche avance deux fois plus loin que le rouleau. Les sujets du niveau IIB « voyaient bien que le rouleau pousse la planche en A2 et qu'il avance lui-même en A92, mais ils n'arrivaient pas à comprendre qu'il y a là deux processus distincts à additionner » (p. 148).

En définitive, cette recherche, comme les précédentes, montre la présence d'une généralisation constructive qui implique à la fois une différenciation de composantes (la rotation, l'avance sur le plan, l'avance de la planche) et leur intégration en un système total bien compris.

Chapitre X : Les observables et les « raisons » en des problèmes de possibilités (avec A. Moreau)

a. Le problème

Le premier paragraphe de ce chapitre offre un bilan théorique intermédiaire des résultats des recherches précédentes :

[Ces résultats] nous ont habitués à l'idée que les généralisations inductives ou purement extensionnelles ne portent que sur des observables dont elles se bornent à dégager les caractères communs pour les retrouver en des situations analogues, tandis que les généralisations constructives tendent à insérer ces relations légales en des structures qui seules leur confèrent une certaine nécessité, ce qui revient à leur fournir une « raison ». En ce dernier cas, la généralité extensionnelle, c'est-à-dire le « toujours », résulte de cette nécessité au lieu de l'engendrer, de telle sorte que cette « extension » fondée sur la « compréhension » n'a plus le même sens que dans la généralisation inductive et n'en procède pas par filiation génétique (p. 151).

La question traitée dans cette nouvelle recherche est de savoir si cette opposition entre la généralisation inductive et la généralisation constructive se retrouve dans le domaine des probabilités ou plus précisément des possibilités propres aux jeux de hasard. Pour cela les enfants sont confrontés à une forme simplifiée du jeu de la roulette. On joue avec des roulettes d'un à quatre, d'un à six, d'un à huit ou d'un à trente-six numéros (de deux couleurs). Si le sujet choisit le bon numéro, et si m est le nombre de numéros possibles, il gagne $m - 1$ jetons ; s'il choisit la bonne couleur



ou la bonne parité, il gagne $m/2-1$ jetons. De plus, si le sujet place 2 jetons ou plus, il gagne 2 ou n fois ce qu'il aurait gagné s'il n'avait joué qu'un jeton.

b. Stade I

Au niveau IA, les sujets ne cherchent pas de régularité, sauf si on le leur suggère. Les rares régularités possibles qu'ils conçoivent alors ne sont pas tirées des faits (ni déduites d'un système fournissant la raison des régularités possibles), mais sont relatives à des règles ad hoc (on continuera à gagner trois jetons parce qu'on vient d'en gagner ce nombre, etc.). L'auteur constate alors que « [le sujet de ce niveau] n'est pas le sujet épistémique qui construira plus tard des 'structures déductives', c'est le sujet individuel (donc égocentrique) inséré dans les péripéties du seul 'vécu' » (p. 155)⁶⁷.

Au niveau IB (6 ans environ), les motivations « subjectives » disparaissent et les sujets parviennent à tirer des régularités empiriques à partir de leurs constats. Les inductions des enfants s'étendent progressivement aux différentes situations, certains d'entre eux parvenant même à généraliser la formule du gain égal à $m-1$ à travers les différentes situations (donc pour la situation de trente-six numéros, le gain sera de trente-cinq jetons). Mais l'ensemble des généralisations se font de proche en proche et reposent constamment sur les constats.

Si les questions portent sur la plus ou moins grande facilité de gagner (il est plus facile de gagner en jouant dans la situation avec quatre numéros que dans celle où il y en a cinq, etc.), les réponses des enfants reposent sur une intuition similaire à celle qui nous fait pressentir qu'il est plus simple de retrouver un objet parmi quatre autres que parmi huit. Mais que la situation se complexifie un peu (qu'il soit par exemple question de savoir si c'est plus facile de gagner lorsqu'on mise pair dans le cas de la collection de quatre jetons, ou pair dans le cas de la collection de huit éléments), et le sujet pourra répondre qu'il est plus facile d'emporter la mise dans le premier cas (ou l'inverse). Seule la mise en rapport des relations quantitatives en jeu permettra de dépasser les limites de cette forme d'intuition restant basée sur l'expérience.

c. Niveau IIA

A ce niveau, les généralisations inductives ne posent plus de problèmes majeurs, au moins dans les situations les plus simples. Les sujets peuvent en particulier généraliser ce qui se passe lorsque deux ou n jetons sont placés en lieu et place d'un seul. Par contre les questions relatives à la plus ou moins grande chance d'un gain par rapport à un autre continuent de poser des problèmes. Les enfants peuvent certes affirmer que le gain est plus facile lorsqu'il y a un plus petit nombre de numéros, parce qu'alors, comme le dit un sujet, « les secteurs sont plus grands » (p. 161), d'où plus de chances de tomber dessus. Mais dès que les nombres en jeu ne sont plus absolus mais doivent être considérés dans les rapports qu'ils entretiennent les uns avec les autres (autant de chance de gagner un pair dans le cas de quatre numéros, que deux pairs dans celui de six, ou que trois pairs dans celui de huit jetons, etc.), les sujets livrent des solutions erronées. Pour parvenir à trouver la bonne solution



dans ces cas, il faut répartir l'ensemble des jetons en sous-classes avec leur complémentaire, et considérer toutes les sous-classes avec leur complémentaire comme des possibles (par exemple, ce n'est pas parce qu'un élément sur quatre a été tiré qu'il ne doit plus être considéré comme un élément de la classe des possibles pour une nouvelle mise).

Comme le note Piaget dans le dernier paragraphe de cette section, « nous voyons dès ces faits combien les relations à construire pour dominer les questions de facilité et de possibilité diffèrent des relations observables en jeu dans les généralisations inductives : c'est que par sa nature même le possible déborde le donné et exige une nécessité déductive irréductible aux simples constatations » (p. 163).

d. Niveau IIB et stade III

Au niveau IIB, les solutions correctes et incorrectes se côtoient en ce qui concerne les questions relatives à la plus ou moins grande facilité de gain, les sujets oscillant des unes aux autres. Ils peuvent toutefois dans les cas les plus simples raisonner en termes de chances, et par exemple affirmer que s'il y en a plus de gagner avec quatre qu'avec huit en posant un jeton sur un des numéros, c'est parce que dans un cas il y a une chance sur quatre et dans l'autre une chance sur huit.

Au stade III enfin, la raison de la valeur des gains est complètement explicitée et le sujet raisonne sans difficulté en termes de rapports entre possibilités (avec pair et impair, on a une chance sur deux de perdre, et une chance sur deux de gagner, quel que soit le nombre de numéros).

e. Conclusions

Vu la relative complexité de cette recherche, citons le début des conclusions, qui résume bien le sens général de ses résultats :

La réponse que les faits ont donnée à la question formulée en notre introduction est extrêmement simple et la différence entre les généralisations inductive et constructive s'est montrée aussi nette en ce chapitre que dans les précédents. Deux sortes de problèmes bien différents étaient, en effet, posés aux sujets : quelle est la règle fixant les gains dans le jeu adopté et quel est le rapport entre cette règle et la facilité de gagner ? Or, si les unes comme les autres des solutions à trouver supposent la coordination et la généralisation des relations, on a pu constater que celles-ci étaient de nature bien différente. Dans le premier cas il s'agissait de constater puis de prévoir qu'en certaines conditions de fait certains gains étaient obtenus à titre également factuel et il ne s'agissait donc que d'établir les relations entre ces deux sortes d'observables et de vérifier leur régularité : d'où des généralisations inductives, obtenues non sans tâtonnements (dont nous avons abrégé les descriptions, là n'étant pas notre question centrale), mais atteintes en leur principe dès le niveau IB et parfois avec précision (« on enlève toujours un pour donner les jetons », Ser à 6;1 !).



S'agissant, par contre, de trouver la raison de cette règle, et, pour le faire, de la mettre en rapport avec la plus ou moins grande facilité ou difficulté de gagner, les solutions n'ont guère été entrevues qu'au niveau IIB et n'ont trouvé une formulation correcte qu'au stade III, celui des opérations propositionnelles et formelles. Or, l'explication de ce décalage s'est montrée bien facile : c'est tout simplement que les relations nécessaires pour résoudre le second problème impliquent une composition des possibilités et que les possibilités ne sont plus des observables mais des entités déductives qu'il s'agit de construire (p. 166).

La dernière partie des conclusions compare la situation spéciale des « possibles probabilistes » avec celle des possibles qui interviennent dans le contexte de la pensée hypothético-déductive (et dont la réalisation de l'un d'entre eux n'exclut pas forcément celle d'un autre possible, les possibles s'ajoutant en ce cas les uns aux autres). Piaget note que cette recherche confirme que la généralisation constructive qui intervient sur le terrain des possibles probabilistes est de même type que celle que l'on observe sur les autres terrains où interviennent des transformations virtuelles pouvant s'additionner les unes aux autres. Dans les deux cas, il y a subordination progressive des généralisations inductives aux généralisations constructives.

Chapitre XI : Généralisations relatives à la pression et à la réaction (avec A. Karmiloff-Smith et J.-P. Bronckart)

a. Le problème

Piaget commence par discuter l'état de la question sur le plan de l'épistémologie de la physique. Il résume son opposition aux thèses du positivisme logique, ce qui, pour la généralisation, signifie que celle-ci ne se réduit pas à sa forme inductive, même sur le plan de la pensée physique. Il suppose même que, si la généralisation concernant les contenus reste, sur le plan de la physique, plus liée aux données de l'expérience, « la pensée physique en construit qui dépassent [...] les frontières de l'observable » (p. 170 ; l'auteur pense notamment à des notions telles que le virtuel ou le potentiel).

Ce sont ces hypothèses que ce chapitre a charge de vérifier, en confrontant les enfants à des problèmes dans lesquels il est question de la pression qu'un poids, même immobile, exerce sur son support. Ce qui sera centré ici, ce sont « les modes de raisonnement aboutissant aux notions d'une réciprocité entre forces opposées » (id.).

⁶⁷ L'affirmation de Piaget doit être relativisée. Pour prendre un exemple qui concerne le développement « macrogénétique » de l'intelligence, un sujet peut être « égocentrique » sur le plan de la représentation spatiale, et « épistémique » sur le plan de l'intelligence sensori-motrice (lors de la résolution d'un problème de déplacement sensori-moteur). Bien sûr, la notion d'épistémique doit être différenciée selon que l'on considère le plan de l'intelligence sensori-motrice ou celui de l'intelligence représentative. Mais dans les deux cas il y a opposition par rapport à une forme « égocentrée » de résolution des problèmes, forme qui doit d'ailleurs être elle aussi différenciée selon qu'on se trouve sur le plan de l'action ou sur celui de la pensée.



b. Stade I

A ce niveau IA, la pression, c'est encore, pour le sujet, l'enfoncement visible du réactant sous l'effet de l'agent. En l'absence d'un tel constat, il n'y a pas de pression (mais les enfants acceptent que tel objet presse leur main, ce qui est d'ailleurs encore un constat). Des généralisations inductives sont aussi possibles (tel objet peut presser sur d'autres objets pour autant que ceux-ci aient une certaine consistance)⁶⁸. Enfin, seul l'agent est conçu comme actif, le réactif réagissant toutefois après coup en reprenant sa forme.

Au niveau IB (5-6 ans), les sujets admettent que l'objet est lourd même si la mousse ne bouge pas ; mais dans un tel cas il n'y a pas pression « agie » (p. 175), car l'objet n'est pas assez pesant et ne pousse pas l'autre. L'enfant généralise en partie sa propre expérience subjective aux objets (qui peuvent « sentir » le poids qui ne pousse pas)⁶⁹. Certains sujets confrontés à l'une des situations expérimentales dans laquelle l'enfant et l'expérimentateur se poussent mutuellement une de leurs mains en viennent à des réponses qui annoncent celles du niveau IIA : les mains ne bougent pas « parce qu'on pousse la même chose, on a le même poids » (p. 177). Mais ils se refusent alors, sauf exception, à généraliser à ce qui peut se passer entre les objets extérieurs. De manière générale, « ces sujets, tout en formulant en termes de poids rivaux la relation de l'agent et du réactant, ne comprennent pas encore la possibilité de deux actions simultanées de sens contraires : si l'un des poids l'emporte, l'autre ne fait rien, qu'il s'agisse de l'agent qui renonce sans essayer ou du réactant-patient qui subit sans réagir » (pp. 177-178).

c. Stade II

L'enfant de niveau IIA (7-8 ans) peut maintenant anticiper : un objet lourd va enfoncer la mousse parce qu'il est lourd. De plus tout objet conserve son poids, quel que soit le réactant. Piaget note que chaque fois que le sujet peut observer un mouvement, ou croire l'observer, l'explication réside dans le rapport des poids des objets en présence. Mais en dépit de la conservation de son poids, un objet pousse plus ou moins selon la nature du réactant, et peut même ne plus pousser (par exemple, fer sur fer, ça n'appuie pas parce qu'il y a alors un « même poids »). Enfin, si les sujets peuvent admettre que la mousse « retient », ils ne voient pas ce pouvoir comme une action de sens contraire à celle de l'objet qui pousse. En bref, à ce niveau, on constate « une explication des enfoncements par le rapport des poids, avec tendance à conserver ces derniers, mais refus d'admettre des 'poussées' dépassant les observables et surtout les réactions » (p. 181).

d. Niveau IIB (9-10 ans)

A ce niveau, il y a « extension progressive des actions de presser ou pousser aux cas où il n'y a pas d'enfoncement observable, et une force de résistance accordée aux réactants » (p. 181), force non encore proportionnelle à celle de l'action contraire,



mais freinant ou bloquant les effets visibles de celle-ci. Mais le sujet ne généralise pas encore à tous les agents en jeu (par exemple le *sagex* n'appuie pas sur le bois, ou bien la mousse « sent » moins le poids que le *sagex*). Le problème central de ce niveau serait celui de la nature des « comportements du réactant » (p. 184). La réaction du réactant serait dépendante de sa constitution (et non pas de l'action du corps agissant sur lui). La résistance ne serait pas une force inverse de la pression, mais un « produit statique de la dureté » (p. 185). Dès lors le sujet pourra se demander si la pression de l'agent est plus forte ou moins forte selon que la réaction est plus grande ou moins grande. En bref, les enfants de ce niveau essaient de comprendre ce qui se passe au niveau des actions et des réactions, mais sans encore relier adéquatement les composantes en jeu.

e. Stade III

Les sujets de ce stade comprennent enfin que l'action de poussée d'un corps sur un autre entraîne une réaction de force égale et de direction opposée (dans un premier temps, ils peuvent produire des réponses qui s'apparentent encore à celles du niveau précédent, en distinguant une résistance passive, qui suffit aux objets durs, et une résistance active que l'on voit à l'œuvre dans la mousse résistant au poids qui la presse, etc.). Un sujet affirmera par exemple que, même si on ne voit rien se produire, un objet dur réagit plus avec un objet plus pesant agissant sur lui qu'avec un objet moins pesant, la réaction étant alors considérée comme toujours égale à l'action (la mousse réagit plus à un cube de bois pressant sur elle qu'à un cube de plastique).

f. Conclusions

Cette recherche rend manifeste la façon dont la généralisation constructive peut intervenir de façon massive sur le plan de la physique. L'observable est en effet réduit à la « portion congrue » (p. 188) et « tout le problème est [pour le sujet] de l'insérer dans un vaste réseau d'actions et de réactions qui sont résolument inobservables, et d'autant plus difficiles à atteindre que, paradoxalement, elles sont de nature physique et font partie du réel, mais précisément dans la mesure où le réel est constamment conçu comme un secteur du possible » (p. id.).

Au niveau IA, deux observables interviennent : « la pression n'intervient qu'en cas d'enfoncement et celui-ci n'a lieu que si le réactant n'est pas dur » (p. 188). Au niveau IB, s'ajoutent les deux affirmations : la pression a des degrés (c'est encore un constat) et un objet pesant peut être senti par un réactant « tout en n'exerçant aucune pression » (p. 188, ce qui respecte la notion empirique d'une pression liée à un effet visible). Il n'y aurait pas de pression parce que la dureté du réactant soit l'emporte soit annule la force de l'actant. Le niveau IIA est celui de la conservation du poids. Mais cette acquisition ne suffit pas à imposer la notion d'une pression ou d'une force qui persiste même en l'absence d'effets visibles. Pour dépasser cette étape, les sujets vont devoir construire la notion d'une force agissant « sans mouvement » (p. 189), et ils vont devoir aussi et du même coup construire la notion d'une force de réaction dont les effets ne se traduisent pas plus par un mouvement. Cet aspect constructif pourra même apparaître dans un premier temps à travers de faux observables ou la construction de concepts inadéquats (la résistance passive par exemple).



La fin de ce chapitre expose clairement les conclusions centrales que l'auteur croit pouvoir tirer des faits observés chez les enfants :

[...] la généralisation constructive en jeu dans cette expérience ne consiste pas seulement à composer des formes logiques nouvelles pour les contenus donnés, ce que sont la conservation pour la pression et la réciprocité pour les actions contraires en état d'équilibre : bien qu'il s'agisse de physique, elle en vient à engendrer des contenus nouveaux, non suggérés par les observables, tels que les forces sans déplacements et les réactions invisibles en leurs directions comme en leurs déploiements. La raison de cette parenté entre les généralisations constructives logico-mathématiques et physiques est alors que, si les premières s'installent directement dans le monde des possibles, les secondes, dont le but n'est nullement pareil et qui ne tendent qu'à expliquer le réel, n'y parviennent qu'en plongeant le dernier dans le même univers des possibles. L'« attribution » des opérations du sujet aux objets eux-mêmes, en quoi consiste la causalité, est donc bien plus, comme nous l'avons dit sans cesse, qu'une application à des fins d'économie : les nouvelles déductions constructives qu'elle nécessite aboutissent à ce renversement révolutionnaire des rapports entre le réel et le possible, ce qui n'est pas le moindre succès de ce mode de généralisation (pp. 190-191).

En un mot, le monde virtuel atteint par généralisation constructive (productrice de formes et de contenus non empiriques) a des lois déductives qui viennent encadrer et expliquer les lois inductives atteintes par généralisation empirique.

Chapitre XII : La généralisation de la notion de vitesse (avec E. Dekkers et S. Dayan)

a. Le problème

Piaget revient sur la question des liens entre les généralisations et les processus de différenciations et d'intégrations, et cela dans le contexte des différentes formes de vitesse et ce qu'elles ont de commun. Il rappelle que si les notions les plus élémentaires de vitesse sont basées sur le simple dépassement et l'ordre de succession, les notions ultérieures (vitesse de déplacement linéaire ou angulaire et fréquence) font intervenir la durée. Il pose alors deux questions au départ de cette nouvelle recherche : comment le sujet différencie-t-il les vitesses angulaire et linéaire, et comment

⁶⁸ A noter que les généralisations inductives observées (et qui relient des poids et des objets en mousse) sont possibles grâce à la « mise en correspondance (morphisme) des poids lourds et des morceaux de mousse, et cette mise en relations comporte une ' forme ' (le morphisme comme tel) acquise bien antérieurement et dès les niveaux sensori-moteurs » (pp. 174-175). On a là un nouvel indice du lien existant entre les différents groupes de recherches conduites par Piaget dans les années 70. Les recherches ultérieures permettront d'ailleurs de restreindre la notion de morphisme utilisée ici dans un sens peut-être un peu abusif.

⁶⁹ L'indication selon laquelle le sujet généralise sa propre expérience (ce qu'il sent lorsqu'il tient un objet léger) n'est curieusement pas formulée par Piaget, bien que certaines réponses des sujets la suggèrent.



parvient-il à réaliser les intégrations « pour l'interprétation de la vitesse fréquence en tant que rapportée à la durée » (p. 194) ?

Les sujets sont interrogés au moyen de trois dispositifs : 1. une roue munie d'une bande colorée et qui tourne plus ou moins vite sur elle-même, derrière un écran comportant une fenêtre par laquelle on voit passer la bande colorée, 2. la même roue qui avance plus ou moins vite sur une surface en faisant un ou deux tours, 3. un engrenage composé de roues de différents diamètres (deux vitesses sont impliquées : celle, égale partout, de défilement des dents, et celle, angulaire, de chacune des roues).

b. Section I : la vitesse-fréquence

Le stade I et le niveau IIA

Au stade I, la vitesse-fréquence est évaluée en fonction de l'action de perception (une grande vitesse de rotation de la roue munie d'une bande colorée se traduit par une plus grande difficulté de perception). Au stade IB, il y a début de référence soit à une première notion de fréquence (on voit la bande « partout » : la fréquence est traduite spatialement), soit à une durée liée à l'action propre (la durée de l'acte de vision).

Au niveau IIA (7-8 ans environ), il n'y a pas encore de mise en rapport du nombre de fois que la bande a été perçue avec la durée totale d'observation de la roue, mais la fréquence intervient explicitement : ça va plus vite parce qu'on voit souvent la bande, ou parce que celle-ci passe plus rapidement derrière la fenêtre de l'écran. Mais à ce niveau les sujets n'ont pas l'idée ni ne jugent nécessaire de mettre en relation le nombre de traits perçus avec la durée de présentation, qui sont pourtant implicitement sous-jacents à leurs affirmations. C'est que « les notions dont ils se contentent pour exprimer la vitesse-fréquence demeurent essentiellement indifférenciées » (p. 198). Pour que « souvent », « beaucoup », « passer vite », etc. se réfèrent explicitement à la mise en rapport de nombres et de durées, encore faudra-t-il « dissocier ces concepts en leurs composantes » ou que les enfants les conçoivent comme « le produit de compositions » (id.), ce qu'ils ne feront que « lors de généralisations visant à comparer diverses situations pour en dégager les éléments communs » (p. 198)⁷⁰. Ce sont alors « les comparaisons généralisatrices qui obligeront les sujets à trouver des instruments de mises en relations inter-situations, d'où le recours nécessaire aux dénombrements et à la quantification des durées » (id.).

Le niveau IIB et le stade III

C'est vers 9-10 ans environ qu'apparaissent des mises en rapport encore lacunaires du nombre et de la durée dans la première situation. Par exemple, du fait qu'un chronomètre indique dans deux cas la même durée, les enfants en concluent que la fréquence d'apparition de la bande sur la roue est la même. Au stade III, il n'y a plus de problème. Parmi les solutions proposées il y aura par exemple celle du sujet qui

⁷⁰ Polystyrène expansé.



compte combien de fois la bande passe pendant une certaine durée, et cela lorsque la roue tourne vite et lorsqu'elle tourne lentement, ou bien encore celle qui consiste à chronométrer le temps de passage de la bande. La recherche d'une différenciation du terme « souvent » appliqué à deux vitesses différentes conduirait ainsi les sujets à mettre en rapport le nombre total et le temps employé (et lorsque les sujets mesurent le temps de passage pour un tour, ils le font dans l'hypothèse que la roue tournera toujours à une vitesse constante pendant toute la durée de l'expérience).

c. Section II : vitesse linéaire et angulaire

Les tours de la roue sur la table

Dans cette situation il s'agira pour le sujet de mettre en rapport la vitesse linéaire d'une roue avançant sur la table avec sa fréquence de rotation et sa vitesse angulaire. Selon que les questions posées aux enfants évoquent ou non explicitement la durée (et pas seulement le nombre de tours, l'espace parcouru et la vitesse), les réponses seront ou non facilitées.

Au stade I, et pour ce qui concerne une vitesse constante, les enfants savent qu'il faut plus de temps pour aller plus loin, et que pour un même espace parcouru, si la vitesse est moindre, cela prend plus de temps (les questions portent ici sur la durée). Les sujets savent aussi que si la roue fait plus de tours, elle va plus loin (mais sans savoir exactement de combien). Par contre, s'il n'est pas question de durée dans la question, une augmentation de vitesse pour un même nombre de tours sera considérée comme amenant la roue plus loin (alors que seule la durée est modifiée), ou encore, plus de tours signifiera plus vite, sans considération de la durée. C'est donc ici une notion de vitesse non différenciée de celle de temps et d'espace qui intervient.

Au stade II, les enfants commenceront de la même façon, mais en arriveront plus ou moins vite à juger que, par exemple, la vitesse ne compte pas pour la question de savoir où la roue arrivera si elle fait tel nombre de tours. Piaget suggère que les enfants de ce stade généraliseraient progressivement ce qui se passe pour un tour à ce qui se passe pour n tours.

Quant au stade III, les sujets mesurent spontanément le périmètre de la roue et le reportent n fois sur la table, la vitesse (qui peut varier selon qu'on lance la roue plus ou moins fort) ne jouant pas de rôle sur la longueur d'un trajet réalisé par ces n tours. Pour connaître à quelle vitesse la roue avance, ces sujets savent qu'il faut faire intervenir la durée.

La vitesse des engrenages

Dans le cas de la roue avançant sur une table, la vitesse de rotation et la vitesse linéaire n'ont pas besoin d'être différenciées dans la mesure où le dispositif les fait apparaître distinctes. Dans le cas des engrenages, la vitesse linéaire est celle du défilement des



dents (nombre de dents pendant telle ou telle durée). L'avancement des dents est cette fois étroitement liée à la rotation des roues, ce qui suggère une égalité trompeuse des vitesses, alors qu'il n'y a plus de rapport direct entre les deux vitesses.

Au stade I, les évaluations sont perceptives et ne font pas intervenir le nombre précis de tours ni celui de dents. Au stade IIA il y a progrès en ce sens que « certaines relations sont établies entre la vitesse et les nombres de tours ou de dents et entre [ces relations] et le temps » (p. 206). Les sujets peuvent admettre que telle roue va plus vite que telle autre (ils se centrent sur le fait que la petite roue boucle son tour plus rapidement), et qu'elles vont à la même vitesse (le sujet se centre alors sur les dents). Mais ils ne peuvent pas coordonner ces deux affirmations. Au niveau IIB, les sujets cherchent des compromis pour ce qui leur paraît être alors une contradiction, et ils parviennent à des formulations telles que : « la plus grosse, elle fait moins de tours, elle va plus lentement, mais elles vont à la même vitesse », ou encore « la plus petite a la même vitesse, elle fait plus de tours que l'autre qui a plus de dents ». Contrairement aux sujets du niveau IIA, ils ne juxtaposent plus des affirmations qui nous paraissent contradictoires, et ils maintiennent les deux thèses au sein de la même affirmation en ayant le juste sentiment qu'il n'y a pas de contradiction. Mais il faudra attendre le stade III pour que les sujets parviennent à une différenciation explicite des vitesses angulaires et linéaires qui débarrassera ces formules de leur caractère paradoxal. Ils pourront alors aboutir à des affirmations telles que celle-ci : « la [roue] rouge tourne plus vite sur son axe, mais à la même vitesse de dents » (pp. 208-209).

d. Conclusions

Cette recherche montre que la généralisation en physique n'est en rien réductible à un « processus inductif ou extensionnel » (p. 209), mais est « un raisonnement constructif consistant en l'invention d'idées nouvelles [...] qui éclairent les lois en les doublant d'une interprétation » (p. 209). Pour la notion de vitesse en jeu dans cette recherche, les sujets doivent construire le rapport espace/durée, ce qui serait « affaire de différenciations et d'intégrations » (id.). En ce qui concerne les premières, elles seraient non seulement « le produit d'abstractions », mais exigeraient aussi « une part de généralisation » (id.). L'espace se différencierait de la vitesse tout d'abord grâce à une « généralisation récursive » (si 1 tour fait x cm, n tours font nx centimètres quelle que soit la vitesse). De même, et toujours au niveau IIA, lorsque le sujet « découvre le rôle du nombre de tours, cela est dû à des généralisations, non seulement extensionnelles (‘ c'est toujours elle qui perd ’, dit un enfant de la roue jaune), mais encore constructives en tant que dégageant les raisons (‘ parce que la rouge a moins de dents ’ dit encore le même enfant, ou est ‘ plus petite ’, affirme un autre, etc.) » (p. 210).

En ce qui concerne les intégrations, elles portent d'abord sur la mise en relation des variables différenciées, puis sur « la compréhension du fait que le terme commun de ces relations est la durée » (id.). Pour le premier point, il faut par exemple relier la durée au nombre de tours pour rendre compte de la vitesse. Ou bien il s'agit d'éliminer une contradiction apparente (la roue qui va vite ou lentement selon que l'on considère la vitesse de rotation ou la vitesse linéaire).

Dans les deux cas l'intégration est ainsi rendue nécessaire par la différenciation, du fait que celle-ci entraîne à l'intégration des perturbations ou déséquilibres



(lacunes ou contradictions) et que la rééquilibration n'est possible que par la construction de nouvelles relations rétablissant la cohérence, donc par une intégration (p. 210).

Piaget clôt ce chapitre en notant que les trois notions de vitesses différenciées dans ces expériences (fréquence, rotation, vitesse linéaire) exigent toutes pour être différenciées le recours à la notion de durée. Celle-ci est ainsi « le terme le plus général des rapports constituant la vitesse » (pp. 210-211). La notion générale de vitesse, acquise au stade III seulement, pourra apparaître dès lors comme « quelque chose (quelle que soit la nature des événements successifs) qu'on calcule dans un temps limité », de telle sorte qu'il y a « toujours le temps » (p. 211).

En définitive, ces conclusions éclairent bien la façon dont la généralisation de la vitesse procède à travers plusieurs différenciations et intégrations.

Chapitre XIII : Un cas de généralisation constructive propre au stade III (avec J.-F. Bourquin)

a. Le problème

Ce très court chapitre expose le cas particulier que présente chez les sujets du stade formel la compréhension des lignes d'équilibre permettant de découvrir le centre de gravité d'une surface. Soit des surfaces plates rectangulaires, circulaires ou de forme quelconque. Le sujet est prié de les mettre en équilibre sur le bord de la table ou sur un support cylindrique.

b. Résultats et conclusions

Au niveau IIIA, auquel on trouve des sujets entre 12 et 14 ans, on constate que ceux-ci ne repèrent comme lignes d'équilibre pour les rectangles que deux ou quatre lignes d'équilibre (les médianes et les diagonales). Par contre, pour le disque, ils reconnaissent l'infinité de lignes équilibrant la surface sur le support cylindrique. Au cours des manipulations, un sujet peut pourtant découvrir qu'une position non prévue du rectangle (autres que les deux médianes et les deux diagonales) l'équilibre également sur la surface. Cela lui suffit pour passer à la solution selon laquelle une infinité de lignes entraînent l'équilibre.

Au niveau IIIB, la thèse d'une infinité de lignes s'impose d'emblée, quelle que soit la forme des surfaces proposées.

⁷¹ Ici, il semble que Piaget s'appuie sur le présupposé, qu'il aurait peut-être alors été bon d'explicitier et de justifier, selon lequel les processus de généralisations qui vont être mis en évidence dans cette recherche, et plus précisément la recherche d'« éléments communs » aux différentes notions de vitesse, sont également à l'œuvre dans les activités spontanées des enfants. Existe-t-il des situations de vie dans lesquelles on puisse constater une telle recherche généralisatrice ?



Comment les sujets passent-ils d'une solution à l'autre ? Chez un sujet, c'est mouvoir un disque irrégulier sur le bord de la table qui lui a permis ce passage : « on peut toujours tourner [d'où] partout des lignes à l'infinité » (p. 217). « Ce que le sujet généralise est donc son opération de tourner et non pas les propriétés figurales de l'objet » (id.). Par contre, un autre sujet arrive à la bonne réponse en découvrant que si la surface d'un rectangle n'est pas homogène, la solution à laquelle il croyait, selon laquelle il n'y aurait que deux positions d'équilibre (les diagonales) n'est pas valable. Ce constat lui suffit pour appliquer au rectangle en question, puis immédiatement et spontanément au rectangle à surface homogène, la solution de l'infinité de lignes déjà affirmée à propos des disques : « c'est la même chose qu'avec le rond... une infinité » (id.).

Si les sujets de niveau IIIA commencent par se tromper, c'est que manifestement ils sont conduits à donner la mauvaise solution chaque fois que les caractéristiques figurales de l'objet qu'on leur présente suggèrent l'existence de droites privilégiées, et non pas l'idée de rotation (le quadrilatère ne suggère pas la rotation, le cercle oui). Et c'est parce que, contrairement au sujet de niveau IIIA plus tendu vers les propriétés de l'objet, celui de niveau IIIB considère d'emblée les opérations de rotation à réaliser avec les objets pour les mettre en équilibre qu'il évite le piège de la suggestion figurative. « Dès que domine [...] la géométrie du sujet soit à propos des rectangles soit favorisée plus rapidement dans le cas des cercles [...], la généralisation devient constructive et elle l'est même d'emblée à un degré tel qu'elle engendre ce nouveau contenu qu'est l' 'infinité', radicalement inobservable sur les objets en tant [...] qu'observés perceptivement » (p. 218 ; l'auteur prend soin de noter que la « géométrie du sujet » n'est pas une négation de celle de l'objet, mais qu'elle permet de plonger celui-ci et ses formes dans le monde des transformations possibles, qui dépasse les observables).

Bref les sujets de niveau IIIA vont procéder soit par généralisation inductive soit par généralisation constructive selon que la situation facilite ou non la prise en compte de la « géométrie du sujet ». Notons au passage ici, dans cette idée de facilitation de la solution, une nouvelle indication de la dimension plus fonctionnaliste des recherches des années 70 par rapport à celles sur la genèse des structures opératoires.

Chapitre XIV : Conclusions générales

Les faits étudiés chez l'enfant permettent de retrouver des problèmes similaires à ceux soulevés en épistémologie des sciences. Piaget va traiter successivement les deux types généraux de généralisation mis en évidence dans les travaux du CIEG, puis la question des rapports entre l'extension et la compréhension, les formes de différenciations et d'intégrations en relation avec les généralisations, le développement de ces dernières, et enfin l'équilibration entre différenciations et intégrations intervenant dans la généralisation constructive.

a. La généralisation inductive

Pour autant qu'il soit encore question d'induction en épistémologie des sciences, le plus souvent elle est abordée d'un point de vue logique. Le point de vue auquel se

place Piaget est celui de l'origine épistémologique (dans le sujet ou dans l'objet) des connaissances. L'étude de la psychogenèse montre l'importance des généralisations extensionnelles, « fondées sur les seuls observables » (p. 220), dans les conduites des premiers niveaux examinés : « que ces inférences soient fausses ou correctes, elles se bornent à généraliser de ' quelques ' à ' tous ' les faits ou relations constatés » (id.). Certes, des formes consistant en « classes, relations ou nombres » interviennent comme cadres assimilateurs, mais elles n'engendrent pas les contenus observés. La généralisation extensionnelle ou inductive porte, elle, sur les contenus constatés, sans non plus les engendrer (contrairement à la généralisation en mathématiques, qui engendre de nouvelles formes).

b. La nature de la généralisation constructive

Que veut dire une plus grande généralité sur le terrain des nombres, champ privilégié des généralisations constructives ? L'exemple type est celui du rapport entre corps et anneau. Les entiers relatifs (soit $\dots, -3, -2, -1, 1, 2, 3, \dots$) constituent un anneau, avec ses deux opérations, l'addition et la multiplication ; la division n'y est pas partout possible (exemple : 9 divisé par 4). Les nombres rationnels forment un corps (l'opération de division est partout définie : $9/4$, etc.). Par définition, tous les corps sont des anneaux, l'inverse n'étant pas vrai. Dans la mesure où les corps sont des espèces d'anneaux, n'est-il pas dès lors paradoxal de soutenir que le sujet passe des nombres relatifs aux nombres rationnels par généralisation ? Pourtant lors de ce passage il y a bien engendrement de nouvelles formes (ici le corps des rationnels) et de nouveaux contenus ($2/3$ par exemple). Piaget reviendra sur ce paradoxe apparent dans la section suivante. Dans le présent passage, il souligne avant tout comment la généralisation constructive procède : non pas par la seule extension d'une forme à de nouveaux contenus, non pas donc par simple assimilation généralisatrice à un schème (par exemple la notion de cygne appliquée aux cygnes noirs) ; mais par assimilation réciproque de schèmes, ou encore, comme dans le cas de la généralisation des entiers positifs au groupe additif des nombres entiers, par « assimilation avec différenciations et intégrations » (p. 221). Cette dernière assimilation résulterait d'un déséquilibre interne du schématisme pouvant d'ailleurs découler d'une tentative d'assimilation généralisatrice simple. Dès lors, dans le cas de la généralisation constructive, il y a non seulement un accroissement de l'extension dont la nature sera ultérieurement exposée, mais aussi un accroissement de la richesse du schématisme : « les structures de rang supérieur présenteront alors des propriétés nouvelles » (p. 222).

Ce constat, auquel conduit la considération aussi bien de l'histoire des sciences que du développement cognitif de l'enfant, pose pourtant un second problème. Il s'oppose à une loi logique bien connue selon laquelle tout accroissement d'extension des individus subsumés par un prédicat commun se traduit par l'appauvrissement du prédicat qui les rassemble (le prédicat « animal » est plus pauvre en compréhension que le prédicat « être humain », alors que du point de vue de l'extension, il y a plus d'animaux que d'êtres humains). C'est là encore un point qui sera clarifié dans la section suivante.



c. Les rapports entre la compréhension et l'extension

Dans cette section, Piaget revient sur la question du rapport parallèle ou contraire entre l'extension et la compréhension. Comme signalé plus haut, il semble que d'un certain point de vue ce rapport soit parallèle dans le cas de la généralisation constructive. Une analyse plus fine permet pourtant de montrer que les deux cas de figure sont vrais. Pour rendre compte des effets de la généralisation constructive sur ce rapport, il convient de distinguer le point de vue de la structure ou de la forme de celui du contenu. Du point de vue des formes, on peut mettre en rapport les propriétés en compréhension avec l'extension des structures considérées (il y a moins de structures de corps que de structures d'anneaux, mais la structure de corps est plus riche en compréhension que la structure d'anneau). De ce point de vue, la « loi » du rapport contraire entre l'extension et la compréhension constatée sur le terrain de la logique est respectée. Si, maintenant, on se place sous l'angle du contenu, et on met en relation les propriétés en compréhension des objets sur lesquels agit la structure avec l'extension de ces objets, là aussi la loi est respectée. Mais par ailleurs, le constat selon lequel la généralisation constructive enrichit les propriétés des structures et étend les éléments auxquelles elles s'appliquent reste vrai. Ce n'est pas en effet le nombre de structures résultant de la généralisation constructive qui est augmenté, mais le nombre d'éléments en jeu dans les nouvelles structures, structures qui sont plus riches que celles à partir desquelles elles ont été construites par différenciations et intégrations.

Une fois réglé ce point, l'auteur peut revenir plus longuement sur les mécanismes constructifs qui différencient la généralisation constructive par rapport à la généralisation inductive, et tout d'abord à ces deux processus fondamentaux que sont la différenciation et l'intégration⁷².

d. Les différenciations ou variations extrinsèques et intrinsèques

« En tant que construisant du neuf à partir du connu » (p. 227), la généralisation constructive comporte forcément des différenciations et des intégrations. Les premières « ne consistent pas seulement en abstractions, mais exigent des généralisations, tant pour relier entre elles les variations des facteurs à différencier [...] que pour ouvrir de nouvelles possibilités » (id. ; l'auteur renvoie à titre d'exemple au chapitre VIII sur l'expérience des moirés, dans lequel les différenciations successives ouvriraient sur de nouvelles possibilités et seraient liées à une intégration des variations au sein de structures de plus en plus riches ; le début de la section suivante clarifie un peu ce qui précède dans la mesure où la généralisation est vue alors comme la comparaison des variations).

La généralisation inductive comporte elle aussi des différenciations, mais « imposées par les objets extérieurs » (p. 228). Les différenciations sont alors exogènes et non pas liées « aux transformations internes du système » (id. ; en ce second cas, les différenciations sont déductibles). Il y a donc deux sortes de différenciations ou de variations : les variations extrinsèques, découlant de constats, et les « variations intrinsèques » liées à une propriété, un « caractère de la compréhension », et qui sont déductibles « à partir de la signification de cette propriété » (id. ; voilà un élément qui vient renforcer ou qui va de pair avec le besoin de développer une logique de la signi-



fication). Piaget donne l'exemple de la variation au sein des triangles par opposition à celle de la présence ou de l'absence des glandes mammaires chez les vertébrés (mais qui pourrait devenir des variations intrinsèques si l'on connaissait les « raisons biochimiques pouvant permettre une liaison déductive unissant [les] deux caractères » (p. 229 ; le premier caractère est celui d'être vertébré). Le second exemple montre comment une variation extrinsèque peut être remplacée par une variation intrinsèque lors d'un état de connaissance plus poussé ⁷³.

Muni de ce constat sur le passage possible d'une variation extrinsèque à une variation intrinsèque, l'auteur se demande s'il n'y a pas là l'indice d'une loi psychologique générale selon laquelle « toute généralisation tendrait à s'orienter dans la direction des différenciations intrinsèques » (p. 229). Curieusement il en déduit qu'il n'y aurait alors qu'une différence de degré entre des formes opératoires qui engendrent leurs contenus, et celles qui, « sans les créer [...] les 'réengendrent' » (p. 230). Cette remarque est importante du point de vue de l'épistémologie génétique et du constructivisme. S'il n'y avait de différence que de degré, l'opposition de nature entre les connaissances logico-arithmétiques et physiques serait relativisée (et Piaget se rapprocherait d'autant de l'épistémologie interactionniste de son maître L. Brunschvicg) ⁷⁴ !

e. Les diverses formes de l'intégration

Comme pour la différenciation, toute intégration comporte une part de généralisation. Même la construction de structures spécialisées et plus riches en compréhension (le corps des rationnels par rapport à l'anneau des entiers relatifs par exemple) respecte ce point dans la mesure où ces structures sont alors « intégrées en des systèmes d'ensemble dont les lois rendent compte des spécialisations » (p. 230). Un deuxième exemple est celui de l'assimilation réciproque des schèmes de préhension et de vision au sensori-moteur. Le cas spécial « où les deux qualités positives [le visible et le préhensible] sont réunies [est] solidaire de généralisations quant aux distances, aux masquages, aux déplacements, etc. » (id.).

Si les différenciations restent extrinsèques, les intégrations qui les relient sont qualifiées de coordinatrices. Ainsi, dans le cas de l'expérience sur les moirés, tant que les sujets n'ont pas compris les raisons des variations, l'intégration se borne « à classer des effets observés à titre de variations extrinsèques » (p. 231 ; un deuxième exemple est donné, celui de la taxinomie zoologique). Dès que les sujets atteignent les raisons, il y a au contraire « intégration totalisante ». De même en mathématique, un groupe est l'intégration totalisante de ses sous-groupes : on peut « déduire ceux-ci des variations intrinsèques possibles de celui-là » (p. 232).

Parmi les intégrations totalisantes, l'auteur distingue aussi les « synthétisantes », dans lesquelles il s'agit simplement de « dégager la structure ou le concept communs à plusieurs structures ou notions antérieurement conçues comme hétérogènes » (id. ; par exemple, la synthèse des notions de vitesse, ou encore les synthèses bourbakistes), des « complétives », dans lesquelles il y a engendrement d'une structure plus riche. Il précise cependant que les totalités nouvelles résultant d'une intégration synthétisante « comportent leurs lois propres en tant que totalités » (p. 234), et il donne l'exemple de l'étude des morphismes et de la découverte des catégories à laquelle elle a abouti (on a là une nouvelle illustration de l'interpénétration des thèmes de recherches adoptés dans les années 70).



A propos des structures ou des formes s'emboîtant les unes dans les autres auxquelles conduit l'intégration complétive, Piaget observe que la forme générale qui s'en dégage est tout autre que celle observée sur le plan de la taxinomie zoologique et qui est un arbre : alors que, par exemple, les espèces ne sont pas des genres, ni les genres des familles, etc., les corps sont des anneaux, les anneaux sont des groupes, les groupes sont des monoïdes, etc. La forme générale est ici celle d'une spirale, le passage d'une structure à une autre plus riche (par exemple des anneaux aux corps) se faisant par ajout d'une opération nouvelle. L'intégration complétive se caractérise donc par une « construction continue d'opérations complétant les précédentes en systèmes successifs », eux-mêmes caractérisés par des capacités de plus en plus riches de composition de leurs éléments (associativités plus ou moins étendues, existence d'éléments neutres ou d'inverses de différentes natures, etc.).

Piaget s'arrête ensuite sur la complémentarité des deux démarches, complétive et synthétisante. La première vise une plus grande compréhension, mais atteint aussi une plus grande extension (des contenus), la seconde vise une plus grande extension, « mais en devant passer par les compréhensions » (p. 234). La première peut rester largement inconsciente (l'enfant n'a pas conscience d'engendrer une nouvelle structure ni de construire les rationnels sur les relatifs) ; la seconde est forcément consciente, du moins aux niveaux avancés du développement ou de l'histoire (en mettant en jeu l'abstraction réfléchie, une thématization et non pas une utilisation). De plus l'intégration synthétisante ne peut que porter sur le produit d'intégrations complétives antérieures, et son achèvement exige des constructions de structures nouvelles (de nouvelles intégrations complétives). Sur le plan du développement, pourtant, la fusion des classes et des relations constitutive des nombres est une « intégration synthétisante dont le mécanisme demeure inconscient » (p. 235) ; de même pour l'assimilation réciproque entre schèmes sensori-moteurs, dans laquelle il y a aussi synthèse. En ces cas pourtant, il ne s'agit pas d'extraire une structure commune, mais de réunir deux systèmes en un tout (bien que l'auteur ne le précise pas, il distingue ainsi deux sortes d'intégrations synthétisantes).

f. Le développement des généralisations

Les recherches convergent toutes en montrant le passage des connaissances exogènes vers leurs reconstructions endogènes, ce qui confirme les anciennes recherches sur la prise de conscience. Si la prise de conscience part des observables, il est dès lors naturel que les premières généralisations restent inductives, quand bien même les observations exigent des formes ou des coordinations qui restent inaperçues. Lorsque le sujet prend conscience des coordinations, il devient au contraire capable de construire de nouvelles formes qui peuvent s'accompagner de l'engendrement de nouveaux contenus. Cette double construction serait caractéristique de la généralisation constructive.

Piaget revient alors à la question de savoir si les nouvelles formes et les nouveaux contenus qui peuvent leur correspondre étaient ou non incorporés dans les formes antérieures. Le problème est moins psychologique (question de succession temporelle) qu'épistémologique : le système d'arrivée est-il contenu virtuellement, à titre de possible, dans celui de départ ? Faut-il admettre que le développement n'est que la longue histoire d'un sujet découvrant péniblement la totalité des formes possibles, données dès le départ ? Ou bien l'univers des possibles s'élargit-il au fur et à mesure



des constructions du sujet ? La réponse de l'auteur est connue. Il privilégie le second terme de l'alternative, d'une part parce que la notion d'ensemble de tous les possibles est antinomique (p. 239) ; et d'autre part, parce que la psychologie décrit la réalité d'un sujet réellement actif, capable de construire de nouvelles structures et capable à chaque nouveau palier qu'il atteint de concevoir de nouveaux possibles (plusieurs résultats des chapitres antérieurs sont brièvement rappelés).

Enfin, Piaget note que le moteur constant qui pousse les sujets à passer des généralisations exogènes aux reconstructions endogènes est « la recherche de la ' raison ' des résultats obtenus par abstraction empirique ou pseudo-empirique » (p. 241). Comme la recherche des raisons est un processus sans fin (raison de la raison trouvée, etc.), on rejoindrait ici « le processus central de la généralisation constructive, à savoir que l'élaboration d'une structure s'appuie toujours sur les démarches déjà complétives mais encore inconscientes qui préparent la ou les suivantes » (id.).

g. L'équilibration des différenciations et des intégrations

Piaget retrouve enfin l'une des trois grandes formes d'équilibration majorante exposées dans L'équilibration des structures cognitives, en l'occurrence, précisément celle qui concerne les rapports entre une totalité et ses parties, ou entre les différenciations et les intégrations. Lorsque les sous-systèmes formant une totalité se différencient trop, ou lorsqu'une intégration trop forte ou rapide nuit aux différenciations nécessaires, le système total est en déséquilibre (p. 242). Un processus de rééquilibration pourra alors permettre de combler une lacune, ou encore d'introduire une cohérence renouvelée.

Dans les dernières pages de sa conclusion, l'auteur en vient alors à évoquer les processus de régulation, puis de réglage actif, des négations par rapport aux affirmations, processus qui permettront de trouver un nouvel équilibre, les frontières entre affirmations et négations étant sans cesse déplacées en fonction des nouvelles structures construites. Il donne l'exemple de l'expérience sur les moirés dans laquelle le sujet considère d'abord les superpositions simples, puis « pas seulement » les horizontales et les verticales, mais aussi les obliques, etc. ; à chaque étape il y a suppression d'une limitation et ouverture sur de nouveaux possibles. De même la construction d'une nouvelle structure (les groupes abéliens par exemple) se traduit par une limitation apportée du même coup à la structure de départ (ici les groupes non commutatifs). Le réglage des négations constituerait ainsi « l'un des aspects du mécanisme central de l'équilibration » (p. 244).

Les négations les plus faciles à admettre pour les jeunes sujets sont celles qui sont imposées de l'extérieur (contre-exemples, etc.). Mais même alors ces négations commencent par être rejetées, les sujets préférant négliger ou déformer les observables.

⁷² Dans la section suivante, Piaget ajoutera une remarque intéressante au sujet des rapports entre l'extension et la compréhension dans les classifications. Si, comme c'est possible dans le cas des triangles, on considérerait la compréhension comme définie par l'ensemble des variations intrinsèques possibles, alors la classe des triangles serait plus riche, aussi bien en compréhension qu'en extension, que la sous-classe des triangles isocèles, puisque les variations possibles à l'intérieur de cette dernière sont moins nombreuses que pour la première.



Avec les généralisations constructives, les négations en viennent à s'imposer de l'intérieur.

D'un point de vue fonctionnel, le sujet peut être ainsi conduit à nier que tel ensemble de départ, d'abord admis comme point d'application d'un groupement d'opérations, suffise à résoudre telle ou telle tâche (les classes disjointes par exemple, par rapport à l'engendrement de l'ensemble des parties). Cette négation entraîne alors la considération de nouveaux éléments (dans l'exemple, les intersections de classes) et de nouvelles combinaisons, qui sont le résultat de « négations partielles » des éléments et combinaisons de départ.

Quant au lien avec les différenciations, les négations « peuvent s'imposer à propos de deux sortes de situations » (p. 245). Dans un premier cas, des variations sont imposées par un problème posé. En ce cas, ou bien le sujet peut s'en tenir au seul constat des différenciations imposées extrinsèquement, ou bien il peut chercher à les prévoir et à les expliquer. Dans le second cas, qui manifeste un comportement plus avancé, le sujet peut d'emblée chercher, en face d'un ensemble de faits ou d'une structure, à prévoir et expliquer l'ensemble des variations possibles. « En ce cas les négations sont imposées par la logique interne du système et sont même souvent introduites à titre de méthode exploratrice et généralisatrice : géométries non euclidiennes, suites non archimédiennes, algèbres non commutatives, etc. » (p. 246).

Le réglage des négations se faisant en fonction des affirmations, la généralisation constructive résulte en un « accroissement de la nécessité interne du système » (id.). Cette nécessité aboutit à son niveau relativement le plus élevé lorsque le sujet est capable d'en fournir les raisons :

[...] dans la mesure où le système total implique, en tant que tel, ses lois propres de composition et que les lois des sous-systèmes s'en déduisent par le mécanisme des variations intrinsèques, la nécessité de ces divers rapports se trouve justifiée et susceptible de fournir ses raisons. Et comme, d'autre part, la question du pourquoi est de celles qui se déplacent ou se reposent, par itération continue, l'établissement d'une raison soulevant tôt ou tard le problème de la raison de cette raison, les fermetures obtenues n'excluent jamais l'ouverture sur de nouvelles totalisations. La thématization liée à chaque fermeture s'appuyant sur les constructions non encore thématizable, elle est déjà en devenir et assure ainsi une fécondité proactive non contradictoire avec la rigueur rétroactive (p. 247).

Ces lignes sur lesquelles s'achève l'exposé des recherches sur la généralisation montrent bien le rôle de ces recherches pour Piaget : justifier dans les faits la thèse centrale de son épistémologie, le constructivisme majorant.

⁷³ Piaget aimait les boutades. Le possible passage d'une variation extrinsèque à une variation intrinsèque est l'occasion pour lui de formuler la suivante : « la célèbre conditionnelle ' si le vinaigre est acide, alors il existe des barbus ' pourrait être promue au rang d'implication significative moyennant un certain nombre (mais assez élevé !) de connaissances en plus sur les interactions de l'univers » (p. 229).

⁷⁴ Piaget expose cette position dans *Logique et connaissance scientifique*, pp. 1245-1246.



Chapitre XV : Généralisation opératoire et généralisation formelle en mathématique (par G. Henriques)

Dans ce dernier chapitre, G. Henriques considère le problème soulevé par la mise en correspondance de la généralisation constructive essentiellement instrumentale ou opératoire (qui vise le maximum de compréhension), propre à la psychogenèse des structures logico-mathématiques, avec la généralisation formelle (qui vise l'extension la plus grande) telle qu'elle se manifeste sur le plan de la science mathématique et dans l'histoire récente de la découverte des structures mathématiques. Alors que, par exemple, un cas particulier d'anneau, celui des entiers relatifs, précède la construction du corps des rationnels (mais la structure n'est bien sûr pas encore thématifiée par les sujets) pour ce qui est de la généralisation formelle, il y a eu thématification de la structure de corps avant celle d'anneau. Mais c'est que la thématification formalisante a commencé par la structure d'arrivée (le corps), pour remonter ensuite à la structure plus primitive, plus faible en compréhension, sur laquelle la première a été construite, dans ce cas particulier, l'anneau. Henriques considère une deuxième illustration de ce renversement de l'ordre psychogénétique par l'ordre formel de construction des structures, celle de la géométrie : des structures topologiques élémentaires précèdent sur le plan de la psychogenèse l'acquisition des structures projectives et métriques, alors que la théorisation des structures topologiques a succédé à la formalisation des structures métriques et projectives.

Dans ses conclusions précédemment résumées, Piaget reprend en partie ces analyses, mais en en atténuant la généralité, dans la mesure où il n'est nullement exclu que les généralisations opératoires et les généralisations formelles (ou thématifiantes) aillent de pair et ne se succèdent pas aussi clairement que l'illustrent les exemples prototypiques choisis par Henriques.











6. Recherches sur les correspondances

Introduction

Piaget commence par indiquer que ces recherches avaient pour but de « développer les interprétations [des travaux de la fin des années 60 sur les fonctions] qui voyaient en celles-ci une étape préalable de la formation des opérations » (p. 6). On peut se demander pourquoi, après avoir réalisé des recherches sur les mécanismes de construction (l'abstraction réfléchissante et la généralisation notamment) l'auteur a repris, en la généralisant, la question des formes préopératoires. On trouve un élément permettant peut-être de répondre à cette question dans les conclusions de l'ouvrage sur l'abstraction réfléchissante, dont il est probable qu'il a été rédigé alors que les recherches sur la généralisation étaient en cours ou en voie d'achèvement. Comme le révèlent les conclusions de l'ouvrage, un des chapitres sur l'abstraction réfléchissante a remis au premier plan des conduites relevant des anciennes recherches sur les fonctions. Comme celles-ci esquissaient une logique très générale des coordinateurs (opérateurs de construction s'il en est, du moins si l'on en croit la référence faite à leur sujet dans les recherches sur l'abstraction réfléchissante⁷⁵), et comme d'autre part la question de la modélisation des structures préopératoires n'avait jamais été réglée, il est très vraisemblable que l'auteur a revivifié cette question liée à celle de la source des structures opératoires, mais qui laissera une place plus grande au problème du fonctionnement de l'intelligence que cela n'était le cas lors des décennies 1940 à 1960 qui ont vu dominer la question des structures.

De plus, comme la théorie mathématique des catégories ainsi que l'étude mathématique des morphismes (ou des relations entre structures) avaient continué et dépassé le structuralisme bourbakiste comme démarche d'unification des réalités mathématiques, on comprend que Piaget ait éprouvé le besoin de consacrer une ou deux années à s'interroger sur ces formes plus fondamentales encore de réalités mathématiques que celles qui avaient pu être dégagées dans les décennies précédentes.

Qu'en est-il donc de la genèse des correspondances et des morphismes sur le plan du développement psychogénétique ? En cherchant à répondre à cette question, l'auteur annonce dès son introduction que la recherche d'une réponse l'a conduit à apercevoir la place trop exclusive accordée dans la psychologie génétique classique aux transformations par rapport aux conduites consistant simplement à relier, sans forcément

⁷⁵ L'évocation des coordinateurs est surtout présente dans le chapitre IX des Recherches sur l'abstraction réfléchissante ainsi que dans les conclusions, et l'ancienne étude sur les fonctions est explicitement mentionnée aux pages 309-310 du même ouvrage. On va voir au cours de l'examen de cette étude sur les correspondances que Piaget avance une conception très forte et audacieuse au sujet de ces coordinateurs. Sorte d'actions très primitives d'organisation du réel, ceux-ci, qui sont en nombre réduit, seraient la source non seulement des multiples correspondances étudiées ici, mais aussi des opérations constitutives de la pensée opératoire.



les transformer, des états ou des structures. Ainsi, dans une covariation fonctionnelle, on peut considérer les transformations de x en x_9 , puis de x_9 en x_{99} , etc., ou de y_9 , y_{99} , etc., mais aussi les relations entre x et y , x_9 et y_9 , etc. Bien sûr, cette place accordée aux simples mises en relation ne signifie pas que Piaget minimise maintenant l'importance cruciale des transformations. Il annonce d'ailleurs dès le départ la couleur en affirmant que si la correspondance, qui ne transforme rien, indique une dépendance entre les termes mis en relation, « c'est à titre de constatation entre les observables sans en dégager la raison qui est à déduire des transformations, une fois celles-ci comprises comme telles et structurées opératoirement » (p. 6). En ce dernier cas, précise alors l'auteur, « la correspondance change [...] de nature en se reliant ou même se subordonnant à un système organisé de transformations et atteint alors le rang de morphisme » (id.).

Qu'en est-il plus précisément du lien entre correspondances et transformations, tel est le problème central que Piaget va s'efforcer de clarifier dans cet ouvrage et dans *Morphismes et catégories* qui le complétera, le premier examinant les formes les plus élémentaires de correspondances, le second les formes plus élaborées⁷⁶. Il précise aussi d'emblée qu'à elles seules les correspondances manifestent peu d'évolution (dès lors le concept de stade n'est pas applicable pour décrire les niveaux qui seront observés, l'auteur préférant utiliser celui, plus général, d'étape⁷⁷). A tous les niveaux, on trouve des bijections, des injections, des surjections ou des compositions de ces formes de base, ainsi que des « multijections » (correspondances de type un à plusieurs, non considérées dans la théorie mathématique des applications) et des « sousjections » (correspondances partielles, comme celle à l'œuvre dans l'inclusion préopératoire lors de laquelle une classe incluante, comparée à l'une de ses sous-classes, est mise en correspondance seulement avec la complémentaire de la sous-classe considérée). C'est la coordination progressive de ces formes avec les transformations qui engendrera des formes de plus en plus riches de correspondances. Quant à la notion de morphisme, application conservant la structure des systèmes mis en rapport, Piaget la

⁷⁶ Plus loin Piaget précisera ce qu'il convient d'entendre par correspondances et transformations. Si des formes peuvent intervenir dans les deux cas, dans le premier, il s'agit seulement de les appliquer à des contenus, qui peuvent être eux-mêmes des formes. Dans le second cas au contraire, comme le nom même de transformation le suggère, il y a production de formes s'appliquant à un contenu, ou l'encadrant. Notons pourtant que les correspondances peuvent être transformées (d'où l'action possible des transformations sur l'évolution des correspondances), et qu'inversement les correspondances peuvent servir de support à l'acquisition de nouvelles formes.

⁷⁷ Piaget aurait pu adopter le même choix pour décrire l'évolution des abstractions réfléchissantes et des généralisations étudiées dans ses deux précédents ouvrages ! La notion de stade y est encore moins applicable qu'elle ne l'est ici. Ce qui a permis néanmoins son emploi dans ce contexte, c'est que les problèmes alors choisis pour étudier cette double évolution des abstractions et des généralisations sont très proches de ceux utilisés dans les travaux classiques sur la genèse de l'intelligence opératoire. Même si l'analyse psychologique s'arrêterait alors sur les aspects du comportement ou des réponses des enfants touchant à l'abstraction puis à la généralisation, il n'en reste pas moins que ces réponses manifestaient des niveaux variés de compétences préopératoires et opératoires. Pourquoi Piaget n'a-t-il pas utilisé cette stratégie ici ? Peut-être cela s'explique-t-il par le fait que les recherches sur les correspondances reposent fortement sur l'étude des enfants de 1 à 6 ans. Or, pendant cette période du développement, le critère d'intégration structurale exigé pour l'utilisation de la notion de stade est trop peu applicable pour permettre la mise en évidence d'une succession de conduites avec emboîtement de leurs structures (incomplètes) sous-jacentes.



complète avec celle de « prémorphisme », qui couvre « les mises en correspondance portant non seulement sur les objets ou leurs propriétés, mais encore sur les relations qui les unissent » (p. 8 ; dans les prémorphismes ne sont conservées que quelques-unes des relations du premier ensemble, alors que dans les morphismes, c'est toute la structure de celui-ci qui est retrouvée dans le second).

Toujours au chapitre des définitions préalables, Piaget s'arrête ensuite sur les « coordinateurs » psychologiques, qui découleraient directement de la nature des processus d'assimilation propres aux schèmes. Trois familles de coordinateurs sont considérées, chacune composée de trois variétés. La première est liée à la capacité de tout schème de se répéter, d'identifier son « aliment » et de le remplacer (d'où des coordinateurs de répétition, d'identification et de substitution). La seconde famille dérive de la « logique » du schème apte à introduire des relations de ressemblance ou de différence, de réunion et enfin de succession (au sein de l'action comme des objets sur lesquels elle porte). Quant à la troisième, elle concerne « l'infra-logique » du schème, à savoir l'enveloppement (aspect topologique), la direction (aspect projectif), ainsi que le placement et déplacement des objets⁷⁸.

Selon Piaget, ces neuf coordinateurs liés à l'action du sujet seraient la source commune des correspondances et des transformations, selon qu'ils seraient orientés vers les objets ou au contraire vers la composition interne des actions (assimilation réciproque des schèmes au lieu de l'assimilation des objets)⁷⁹. Cette direction contraire explique certaines différences entre les correspondances et les transformations, dont le fait que, alors que les secondes atteignent une nécessité intrinsèque, les premières « ne sont qu'obligées par les propriétés de leurs contenus » (p. 11), ou encore le fait que si « les transformations, en tant que constructions du sujet, dérivent les unes des autres par filiation psychogénétique [...] les correspondances s'ajoutent les unes aux autres en fonction des apports de l'observation et de l'expérience, dont la succession demeure contingente » (id. ; cette affirmation ne s'applique vraisemblablement qu'aux correspondances élémentaires et non pas aux morphismes).

⁷⁸ On peut se demander si la notion de coordinateur ne comporte pas une touche logiciste en porte-à-faux avec une théorie qui généralement s'en tient à évoquer des coordinations, des répétitions, des substitutions, etc. Pourquoi évoquer un « coordinateur de répétition », un « coordinateur de remplacement », ou encore un « coordinateur de déplacement », etc. ? Il y a là un problème qu'il conviendrait d'éclaircir. Notons encore que plus loin, dans les conclusions du premier chapitre, Piaget précisera que ces neuf coordinateurs « ne font que décrire le mécanisme » de l'assimilation (p. 29). Mais d'autre part, sa typologie des coordinateurs dérive manifestement, au moins en partie, de la coupure entre logique et infra-logique propre à la psychologie génétique des années 40 et 50. Par conséquent, il y a dans cette recherche sur les correspondances comme une relecture des travaux sur la naissance de l'intelligence et de la notion d'assimilation à partir des travaux ultérieurs (y compris ceux sur les mécanismes de construction). Comme la suite le confirmera, on a par ailleurs le sentiment que, de fait, deux problèmes généraux guident cette recherche. L'un concerne certes l'évolution des correspondances ; mais l'autre, plus important encore s'il avait été plus complètement traité, concerne l'engendrement de celles-ci et des structures à partir des coordinateurs !

⁷⁹ Là aussi il faudra voir dans quelle mesure la suite de l'ouvrage nourrit une affirmation qui, dans le présent contexte, paraît résulter de l'esprit de symétrie et de système propre à son auteur.



Une dernière section de l'introduction annonce les résultats généraux atteints par les recherches. Trois grandes périodes sont mises en évidence en ce qui concerne les correspondances élémentaires dans leur rapport aux transformations. Lors de la première étape, « les correspondances ne relient que des états observables, sans relations sinon occasionnelles avec les transformations » (p. 12). La deuxième est caractérisée par des interactions et des appuis mutuels entre correspondances et transformations. Enfin lors de la troisième période, qui est liée à l'apparition des structures opératoires, il y a subordination des premières aux secondes (comme le montre par exemple, « la bijection nécessaire entre les opérations directes et inverses au sein d'un groupement », id.). L'absence ou le caractère empirique des relations entre correspondances et transformations lors des deux premières étapes s'expliquerait par le processus de prise de conscience « qui procède de la périphérie au centre, donc du résultat des actions à leur mécanisme interne » (p. 13), le passage graduel de l'exogène à l'endogène et le caractère relativement plus tardif de la recherche des raisons comparativement à l'attention portée aux objets et aux résultats des actions (mouvement général qui vaut non seulement pour la psychogenèse, mais aussi pour l'évolution des sciences).

Notons pour terminer un aspect particulièrement intéressant des recherches décrites dans cet ouvrage : la place accordée aux enfants de 2 ans (et même 1) à 6 ans. Depuis l'étude de Piaget sur les débuts de la représentation chez ses trois enfants, celui-ci n'avait jamais plus accordé une si grande attention aux conduites et aux compétences de l'enfant de niveau préopérateur !

Chapitre I : Correspondances et coordinateurs dans les débuts du dessin

(avec A. Bullinger, E. Mayer et P. Mengal)

a. Introduction

Lors de l'assimilation d'un schème ou d'une situation, l'objet assimilé est mis en correspondance avec les précédents⁸⁰. Une telle mise en correspondance est encore plus manifeste lorsque le sujet cherche non pas à assimiler un objet, un événement ou une action, mais au contraire à s'y accommoder, et plus particulièrement même à l'imiter. C'est ce genre de correspondances liées à l'imitation qui sont étudiées dans cette enquête, dans laquelle des enfants de 1 à 6-8 ans ont pour tâche de copier des figures qu'on leur présente. Pour les plus petits, les figures choisies sont simplement deux traits parallèles traversés ou non d'un troisième (//, fi) ou encore un cercle avec l'un de ses diamètres dessinés (*). Pour les plus grands, les figures à imiter pré-

⁸⁰ Piaget inclut dans cette affirmation le cas de l'assimilation sensori-motrice. Il y a là matière à discussion. Lorsqu'un bébé de quelques semaines ou de quelques mois applique un schème à un objet, met-il en correspondance celui-ci avec ceux précédemment assimilés ? On peut avoir des doutes à ce sujet.



sentent des propriétés topologiques et projectives variées : fermeture (pour toutes), voisinage par contiguïté (deux cercles tangents), séparation, courbure et rectilinéarité (un carré et un rond), croisement (un « 8 » couché ou vertical), intersection (deux cercles en intersection), enfin mélange de courbure et de pointe (un quasi-cercle avec une pointe).

Ces différentes propriétés sont acquises en trois étapes : d'abord la simple fermeture, puis les séparations, contiguïtés, intersections et croisements (de 3 ans H à 4 ans H environ), enfin la rectilinéarité. L'analyse des comportements (par exemple le marquage d'indices sur le modèle) ainsi que les dessins recueillis révèlent la nature des mises en correspondance visées par les enfants. La question posée alors par Piaget est celle du rôle des coordinateurs dans cette évolution.

Un enfant de 2 ans H ayant un produit un dessin très révélateur du rôle du coordinateur d'enveloppement dans les correspondances observées (il s'agit de l'imitation des deux cercles contigus pour laquelle le sujet procède comme suit : un grand tracé quasi circulaire, puis un trait qui le prolonge, suivi à son extrémité par le dessin d'un petit cercle dont sort un nouveau trait qui rejoint le grand cercle), Piaget commence par consacrer une section à la signification de l'enveloppement.

b. La signification de l'enveloppement (étape 1)

L'enveloppement confère une unité à un objet, ou en fait un tout. Dans sa portée la plus générale, il agit comme un « coordinateur d'intégration » (p. 21). Ultérieurement, s'il veut tenir compte des articulations entre parties, le sujet devra composer l'enveloppement avec d'autres coordinateurs. De même que sur le plan des totalités préopératoires et opératoires il y a passage d'une composition non additive à une composition additive des parties en jeu, de même sur le plan plus précoce des enveloppements topologiques l'auteur se demande si, pour l'enfant, l'enveloppant est autre chose que la réunion des parties enveloppées ou si au contraire il s'y réduit. « En ce dernier cas, cela ne signifie [...] pas que le tout équivaut quantitativement à la somme des parties, mais qu'il comporte nécessairement [...] la coordination de leurs articulations » (p. 21). Trois niveaux peuvent être dégagés ici selon que le sujet porte attention à la seule totalité, selon qu'il s'attache au contraire aux parties sans réussir leur intégration, ou selon qu'il parvient à signifier dans son dessin à la fois les parties disjointes et leur liaison, alors indiquée symboliquement (par exemple, dans le cas du « 8 » couché, par un trait liant deux cercles disjointes).

Avant d'entrer dans l'examen des deuxième et troisième étapes, Piaget note encore que le trait circulaire répété du jeune enfant qui ne relâche pas le crayon pour le tracer est un effort de sa part de représenter la fermeture de l'enveloppant, en d'autres termes du tout qu'il veut représenter. De plus lorsqu'un élément rectiligne apparaît chez l'enfant du premier niveau, cet élément n'apparaît pas encore comme le produit d'une différenciation par rapport au coordinateur d'enveloppement, mais découle simplement du fait que le sujet cherche à « marquer le trajet vers un but » (p. 22).



c. Le début et la réussite des articulations (étapes deux et trois)

Sont tour à tour considérées ici les productions des enfants par rapport aux problèmes d'intersection, de double cercle (la forme « 8 »), de deux cercles contigus et enfin de rectilinéarité.

Différentes sortes de solutions sont données au problème de l'intersection de deux cercles. Lors de la deuxième étape, il y a simplement une répétition de l'enveloppement qui aboutit à un cercle emboîté dans un plus grand. Dans la troisième étape, les sujets différencient les deux enveloppements (résultat : un cercle et un demi-cercle sortant du premier), ou encore les séparent pour les relier par un trait arrondi, ou encore tracent un troisième cercle franchissant la frontière d'un des deux premiers cercles, ou des deux, ou enfin aboutissent à la solution à peu près exacte des deux cercles en intersection (les grandeurs n'étant pas respectées, sinon de manière fortuite).

Pour le problème du « 8 » horizontal ou vertical, il y a aussi différentes solutions qui se distribuent en trois étapes : 1. la simple répétition de l'enveloppement avec disjonction ou englobement des deux cercles résultants, 2. la recherche d'une liaison continue entre l'achèvement du premier enveloppement et le début du second, ou simplement une intersection du deuxième enveloppement avec le premier, ou encore une solution mixte entre l'englobement et l'intersection, ou encore l'indication d'une croix à côté de deux cercles disjoints, etc., et enfin 3. la réussite en un seul mouvement du crayon pour les deux boucles du « 8 » (avec utilisation du coordinateur de substitution qui parvient à substituer la seconde boucle à la première, ainsi que du coordinateur de direction). Bref, alors que les deux premières phases sont un effort de composition des coordinateurs qui aboutit à des solutions insuffisantes (du point de vue de l'expérimentateur), la troisième phase se manifeste par une composition réussie de l'enveloppement, de la répétition avec substitution tenant compte des directions opposées (donc d'au moins quatre coordinateurs).

Piaget passe rapidement sur la question des cercles contigus (qui elle non plus ne donne pas lieu à des solutions immédiates) pour s'arrêter plus longuement sur celle de la rectilinéarité. Dans une première phase il n'y a pas de distinction entre les caractères circulaires ou rectilignes des parties d'une figure. Ce qui compte, c'est qu'elle est fermée ou non. Dans une deuxième phase, lorsque le sujet commence à savoir tracer des droites, il utilise plusieurs stratégies pour copier le carré entrant dans la juxtaposition du cercle et du carré : soit dessiner simplement quatre traits les uns à côté des autres, ou un trait en biffant d'autres, puis le dessin d'un cercle avec au-dessus des lignes qui le traversent. Enfin une troisième phase survient vers 4 ans, lors de laquelle le sujet parvient à dessiner à peu près un carré (dessin qui montre que le sujet est sensible à la présence des quatre angles).

En ce qui concerne le tracé d'une droite, que les jeunes enfants ne parviennent à imiter que tardivement, il convient de distinguer ce qui résulte d'une action ne visant pas la production d'une telle droite et qui se traduit pourtant par un tracé rectiligne, de celle où le sujet est appelé à dessiner un segment de droite. En ce dernier cas, il doit explicitement guider son action en vue d'atteindre le but fixé. Dans un premier temps, devant copier des droites (par exemple fi), il trace des courbes non fermées. Ce n'est là aussi que lorsqu'il saura composer adéquatement les coordinateurs de direction, de répétition (de la direction) et de succession qu'il aboutira à la solution (avec dans une étape intermédiaire une répétition de deux ou trois droites plus ou



moins bien orientées, éventuellement suivies d'une courbe pouvant indiquer la direction vers le bas d'une des droites du modèle).

d. Conclusions

Cette recherche montre que la production d'un dessin correspondant plus ou moins bien au modèle a pour condition la capacité de reconstruire celui-ci au moyen de la composition des coordinateurs. Pour éliminer l'objection qui s'appuierait sur les maladrotes graphiques des jeunes enfants pour expliquer les lacunes de leur imitation, l'auteur rappelle certains aspects des travaux des années 60 sur l'image mentale. Ces travaux ont en effet mis en évidence des déformations du perçu qui ne sont pas réductibles aux déformations obéissant aux lois de la perception, mais qui tiennent à des facteurs tels que le respect exagéré des frontières des objets (interdiction de franchir la frontière d'un objet). Il note par ailleurs que les jeunes enfants ne cherchent pas à imiter les actions réalisées sous leurs yeux par l'expérimentateur, étant sensibles avant tout à leurs résultats (donc aux états et non pas aux transformations).

Enfin, revenant sur le rôle des coordinateurs inhérents à l'activité d'assimilation, Piaget les conçoit comme conduisant à « la construction de structures très différentes (' la fonction crée l'organe ') » :

[...] entre les remplacements (ou substitutions) sensori-moteurs dans l'application de mêmes schèmes à des objets nouveaux et le « groupe des permutations » s'intercalent par exemple onze à douze ans de structurations progressives (p. 29).

Il revient aussi sur la question de savoir comment ces coordinateurs peuvent être source à la fois des correspondances et des transformations, et il propose une nouvelle fois comme point de départ de la construction cognitive les interactions sensori-motrices entre le sujet et les objets. A ce niveau élémentaire, les coordinateurs engendreraient « les correspondances par application [des schèmes aux objets] et les transformations par composition [des schèmes] entre eux » (p. 30). De plus, dès ce niveau, les formes et structures engendrées par les coordinateurs entreraient « forcément en interaction puisque les résultats des transformations ne se constatent d'abord que sur les objets et que les propriétés de ceux-ci ne sont connues que par assimilation : d'où les appuis mutuels, en premier lieu locaux et alternés, des correspondances et des transformations jusqu'à leur union stable et générale du niveau des opérations » (p. 30 ; suit une figure représentant six étapes de ce processus d'interaction liant d'un côté un sujet et de l'autre les objets, les six doubles flèches représentant les interactions $S \leftrightarrow O$ s'agrandissant en fonction de la richesse de plus en plus grande des correspondances et structures construites par le premier dans le cadre de ses interactions avec le second).

La fin de ce chapitre appliquant les considérations précédentes aux résultats recueillis dans cette recherche et annonçant leur application aux chapitres ultérieurs, il vaut la peine de la mentionner in extenso :

Supposons ainsi que les faits décrits dans ce chapitre premier correspondent à l'étape symbolique 2 où les coordinateurs fonctionnels internes conduisent aux correspondances sur l'objet, l'étape suivante 3 sera celle où les coordinateurs,



obligés de s'accommoder à la diversité des objets à comparer, se différencieront sous cette pression exogène, mais permettront en retour des correspondances plus variées : c'est ce que nous allons voir au chapitre II. Dans la suite (dès le chapitre III) des correspondances de plus en plus précises en leur contenu exogène prépareront des transformations partielles ou locales qui réciproquement favoriseront les prémorphismes, etc., [...] jusqu'au moment de leur jonction à un niveau suffisant d'achèvement (pp. 30-31).

Chapitre II : La formation des premières correspondances entre objets et les différenciations des coordinateurs (avec E. Rappe du Cher)

a. Le problème

Piaget distingue ici les correspondances induites par l'assimilation sensori-motrice d'objets successifs à un schème d'action et « sans conscience d'extension » et les correspondances représentatives et intentionnelles s'accompagnant d'une telle conscience « au moins momentanée » (p. 34). Il s'agira à nouveau dans ce chapitre d'examiner comment les coordinateurs, « expression du fonctionnement des schèmes » (id.) et se différenciant sous la pression des objets (p. 34), engendrent des formes non transformantes, liées à l'application des schèmes, ainsi que des structures de transformations, liées à « la coordination des schèmes et à la composition de leurs coordinateurs » (p. 34). Il s'agira en particulier d'examiner si la différenciation des coordinateurs dépend seulement de la pression des objets ou des situations, ou si elle comporte toujours par ailleurs « une composition entre coordinateurs différents » (p. 34)⁸¹.

Pour étudier les premières correspondances entre objets, un premier problème consiste à demander aux enfants de ranger ensemble des poupées entre lesquelles des relations de parenté sont perceptibles (un bébé, des petits et grands frères et sœurs, des parents et deux grands-parents), ou encore de les placer autour de deux petites tables ou d'une grande table. Une deuxième situation met en jeu, en vrac, des habitants, être humains et animaux, de deux fermes, ainsi qu'un pot de lait et sept œufs. Les enfants doivent ranger ces objets ou ces êtres dans les fermes. Puis la clôture séparant les deux fermes est supprimée et l'expérimentateur, en plus d'observer les réactions des enfants, les interroge pour savoir quelles modifications cette suppression entraîne. Enfin, une troisième situation porte sur plusieurs objets et poupées que les enfants seront appelés à mettre ensemble d'une manière qui leur convienne, ou de plusieurs manières, ou de toutes les manières possibles.

b. Répétitions

Pour Piaget, un schème ne se formerait que lorsqu'une action se répète, dans la mesure où il résulterait de ce qu'il y a de commun à ses exécutions successives. Cette affirmation soulève un problème dans la mesure où elle implique que le coordinateur de répétition n'est pas un processus attaché à un schème (ou, comme cela a été



mentionné plus haut, « l'expression du fonctionnement des schèmes »), mais quelque chose qui le précède⁸². L'auteur ajoute d'ailleurs cette autre thèse selon laquelle « la répétition, en engendrant le schème, entraîne ipso facto une mise en correspondance entre les caractères de la situation initiale et ceux des suivantes » (p. 35). Mais là aussi il y a un problème (déjà mentionné précédemment), dans la mesure où on peut se demander si, lors de l'actualisation d'un schème relativement à un nouvel objet, le sujet a conscience du rapport de correspondance entre ce nouvel objet et un autre antérieurement assimilé. Piaget n'est certainement pas insensible à cette question puisqu'il précise que cette mise en correspondance se fait « sans que n'intervienne d'emblée la conscience des différences et des équivalences » (id.). Nous exposons ici ces deux problèmes dans la mesure où ils sont un indice que la réflexion conduite au sujet de l'origine des correspondances et de leurs liens avec les schèmes d'action comporte des lacunes ou des imprécisions théoriquement intéressantes.

Quoi qu'il en soit des deux points précédents, retenons pour l'instant que, dans cette recherche, il est question de correspondances entre objets, et du fait que, dès 2-3 ans, le sujet sait reconnaître de telles correspondances lorsque, par exemple, il place ensemble le père et le grand-père, d'un côté, la mère et la grand-mère de l'autre. Même avant, lorsque le sujet rassemble certains objets (répétition d'une même action) il peut avoir conscience de l'extension qu'ils forment. Sans répondre à un objectif de mise en ordre des objets, ces répétitions d'actions conduisent à des séries devenant prégnantes et que le sujet peut dès lors tendre à reproduire. La répétition aboutissant au rangement des poupées peut se faire dans un ordre linéaire (de gauche à droite par exemple), ou bien alors à partir du milieu, puis continuer en alternant les deux directions \rightarrow et \leftarrow , ce qui peut produire des symétries intéressantes, non recherchées au départ par les enfants.

c. Identifications et remplacements

Les faits suggèrent trois formes d'identités. La première reste tout à fait qualitative : un objet peut rester identique parce que l'enfant y retrouve des indices identiques (tel bébé reste le même parce qu'il a toujours de mêmes habits). Puis vient « l'identité extensive » (alors même qu'il ne sait pas compter, un enfant affirmera qu'un personnage ajouté à d'autres augmente l'extension de l'ensemble qu'ils forment à eux tous). Enfin vient l'identité numérique en tant que conservation de la quotité, mais non pas encore de la quantité numérique, qui est conçue comme pouvant varier en fonction d'un placement différent des membres d'une famille (par exemple, un enfant pourra soutenir simultanément qu'après le déplacement d'un personnage, il y a toujours x membres dans la famille, mais qu'il y a plus de membres après ce déplacement parce que l'espace occupé est plus grand).

⁸¹ On voit bien à travers ces questions comment le fait de reprendre et compléter les recherches des années 60 sur les fonctions conduit à ne plus s'arrêter préférentiellement à la question de la genèse des structures, mais à la compléter par un examen du fonctionnement et des processus de construction.

⁸² On peut d'ailleurs se demander si, dans le cadre de la théorie piagétienne, une action peut exister indépendamment d'un schème.



Le coordinateur de remplacement est quant à lui caractéristique de l'assimilation généralisatrice. Il intervient dès le sensori-moteur lors de l'application d'un schème à un nouveau contenu, application qui serait alors basée sur une « mise en correspondance fondée sur l'analogie » (p. 38). Dans les problèmes posés aux enfants, ce coordinateur apparaît par exemple lorsque, après avoir placé un animal sur un second, un sujet répète cette action, mais en substituant le premier par un autre.

d. Mises en relation de ressemblances ou de différences – réunions et successions

Les correspondances établies entre les objets des situations proposées s'enrichissent. Les enfants peuvent établir des correspondances terme à terme entre les personnages des deux fermes. Des correspondances sériales peuvent être construites. Les animaux peuvent être rangés ensemble selon les caractéristiques qu'ils partagent, etc. On retrouve ici certains résultats observés lors de l'étude sur la *Genèse des structures logiques élémentaires chez l'enfant*, mais avec en plus une attention nouvelle portée par Piaget au rôle des coordinateurs de mise en relation et de réunion et de leurs différenciations progressives permettant d'engendrer de simples assemblages, puis des collections. Les assemblages les plus simples ne retiendraient que « quelques éléments parmi ceux qui sont à classer » (p. 40). Puis viendraient des assemblages avec changement non prévisible de critères. Ensuite le sujet parviendrait à maintenir constant le critère, mais sans classer tous les éléments lui correspondant. Ensuite, en s'efforçant cette fois intentionnellement de ranger selon des critères successifs, un enfant pourra avoir de la peine à éviter des mélanges ou intersections partiels, ce qu'il parviendra à faire à l'étape des collections (les rouges, les bleus, etc.).

Corrélativement à ce progrès des correspondances propres aux assemblages et aux collections, on constaterait différentes formes d'appartenance, en particulier l'appartenance « préinclusive » pour les assemblages et l'appartenance semi-inclusive propre aux collections. A ces formes viennent s'ajouter : l'appartenance « pratique » lorsque la totalité intégrante est fournie par une relation d'utilisation pratique, l'appartenance « prépartitive » lorsque le tout est un assemblage figural, et enfin l'appartenance partitive (par exemple, un côté d'un carré par rapport à celui-ci). Les correspondances entre parties diffèrent alors en raison de ces différentes formes d'appartenance.

Finalement, Piaget note aussi que « le coordinateur de succession se différencie autant que les réunions et les relations de ressemblance » (p. 42), allant de la simple succession à une suite d'accroissements ordonnés (sériation empirique du plus petit au plus grand).

e. Enveloppements et directions – les changements de forme et de position (déplacements)

Dans cette section sont passées successivement en revue les façons dont les coordinateurs d'enveloppement, de direction, etc., interviendraient dans les solutions apportées aux trois problèmes.



En ce qui concerne le coordinateur d'enveloppement, il intervient dans les réponses des enfants lorsque le travail de mise en correspondance locale des parties d'une totalité est sans lien avec les propriétés de cette dernière. En ce cas, l'enveloppement permet de conférer au tout « son existence en tant que totalité » (p. 43).

Le coordinateur de direction se différencierait quant à lui selon au moins trois formes : les directions spatiales (génératrices, avec d'autres coordinateurs, des symétries, des inversions d'ordre, etc.), téléonomiques (qui interviennent dans la coordination des moyens et des buts), ainsi que « les directions mentales ou internes, caractérisant la formation de projets ou d'actions programmées » (p. 43).

Enfin, en ce qui concerne les changements de forme et les déplacements, Piaget mentionne certaines modifications des configurations spatiales dans le troisième problème : les enfants peuvent dès 3 ans H mettre les objets d'abord en ligne, puis en cercle, puis en carré, etc. Ainsi un enfant de 3 ans et 10 mois change-t-il un carré initial de plots en un rectangle. D'où la question théorique que soulève l'auteur : « jusqu'où parlerons-nous de coordinateurs différenciés, sources de nouvelles correspondances, et à partir de quand s'agira-t-il de transformations préparées par ces correspondances ? » (p. 44).

f. Conclusions

Comme pour le précédent, les conclusions de ce chapitre sont l'occasion pour leur auteur de donner une première idée, assez riche et précise, de ce qu'il entend par coordinateur et de la façon dont ceux-ci se différencient et interviennent dans la construction des correspondances et des catégories. Vu leur originalité, leur densité et leur caractère parfois un peu énigmatique, il est utile d'en donner de larges extraits.

La conclusion générale à tirer de ces faits est que la différenciation des coordinateurs engendrant de nouvelles correspondances n'est pas simplement due aux pressions exogènes nécessitant des accommodations, mais comporte en chaque cas des compositions à construire entre coordinateurs distincts. La symétrie [...] est bien un dérivé de la répétition [...] mais exige une composition avec les coordinateurs de ressemblance et de direction. L'identité extensive [...] n'a de sens qu'en combinant l'identification avec l'enveloppement et le remplacement par enchaînement temporel exige une succession avec déplacement des mobiles qui se succèdent en une même position. Les différents modes de réunion [...] avec leurs types distincts d'appartenance supposent des compositions entre ressemblances et voisinages ainsi qu'entre relations entre éléments et leurs relations avec l'enveloppement, compositions progressives et particulièrement complexes. Quant à la succession avec accroissements, préparant la sériation, l'ordre y est composé avec les relations de différences et avec des sens obligés de parcours (direction). Enfin les changements de formes et de positions [...] exigent des identifications et successions et conduisent par étapes continues à des commutabilités et autres transformations opératoires.



En un mot, les différenciations de coordinateurs constituent des débuts de transformations, quoique provoquées par des accommodations contraignantes et ne servant encore que d'instrument d'applications pour l'élaboration de nouvelles correspondances. On se trouve donc déjà, en ce cas, en présence des premiers de ces appuis mutuels, mais alternés, dont il a été question à la fin du chapitre premier : les coordinateurs élémentaires, en tant que fonctionnement de départ, engendrent les premières formes structurales que sont les schèmes avec les correspondances qu'ils comportent. Puis celles-ci rencontrent de nouveaux contenus, d'où l'obligation d'accommodations et de compositions, ces dernières conduisant à de nouvelles correspondances par applications à ces contenus.

Ces appuis mutuels entre les transformations endogènes, dès leur formation, et les correspondances portant sur des contenus exogènes [...] seraient très simples si les secondes agissaient sur les premières de la même manière que l'inverse, autrement dit si les unes engendraient les autres à tour de rôle par pure réciprocité. Mais, en fait, ce n'est pas le cas, car si les transformations engendrent bien les correspondances (d'abord par application à des contenus extérieurs puis déductivement), celles-ci se bornent au mieux à fournir à celles-là les matériaux qui permettront leur construction, en attendant les niveaux opératoires où les transformations se suffisent à elles-mêmes. [...]

Malgré la simplicité apparente du schéma de la fin du chapitre premier [et représentant les étapes de l'interaction sujet-objet, avec allongement des doubles-flèches représentant l'interaction], il faut donc comprendre que l'interpénétration graduelle de l'exogène et de l'endogène [...] s'accompagnera en fait d'un renversement des situations dans les rapports entre correspondances et transformations. Les faits décrits jusqu'ici en ces deux premiers chapitres ne caractérisent qu'une situation préalable au cours de laquelle les coordinateurs et le début des transformations fournissent les cadres des correspondances, rendant ainsi possible la lecture des données exogènes, donc des observables.

En une première phase proprement dite on assiste à un essor et à une généralisation des correspondances (applications et prémorphismes), préparant (au sens limité indiqué plus haut) les transformations non encore opératoires. En une seconde phase, on assistera à des interactions plus étroites avec encore alternances, mais de plus en plus rapprochées. Au cours de la troisième il y aura enfin fusion entre les transformations, devenues entièrement autonomes, et les morphismes qu'elles déterminent et qui atteignent de ce fait le niveau des morphismes transformationnels (pp. 42-43).

Tout cela, et notamment le dernier paragraphe, reste encore un peu mystérieux. On notera par exemple la nature quelque peu imprécise de la présente description des apports mutuels, quoique asymétriques, des transformations aux correspondances (que veut dire précisément « engendrer les correspondances par application à des contenus extérieurs, puis déductivement » ?), et des correspondances aux transformations (les premières ne faisant qu'apporter les matériaux pour la construction – par les coordinateurs ? – des secondes). Il y a clairement ici une réflexion anticipatrice d'une question qui deviendra plus claire lors de l'examen des rapports entre morphismes et transformations (en engendrant des états reliés les uns aux autres, les transformations produisent du même coup des correspondances entre ces états ; lorsque les correspondances sont préalablement données par l'intermédiaire d'un schème,



elles facilitent l'acquisition des transformations productrices des états entre lesquelles pourront être établies des correspondances ayant alors un nouveau statut).

Un passage attire l'attention dans cette longue citation, celui où Piaget affirme que « les coordinateurs élémentaires, en tant que fonctionnement élémentaire, engendrent les premières formes structurales que sont les schèmes avec les correspondances qu'ils comportent » (p. 43). On retrouve ici le problème précédemment soulevé. Comment cette thèse est-elle compatible avec celle selon laquelle les coordinateurs sont liés au fonctionnement de l'assimilation, ou avec celle, soutenue dans *Biologie et connaissance* par exemple, d'une continuité entre les schèmes instinctifs et les premiers schèmes acquis ? Faut-il admettre la présence, antérieurement aux schèmes, de coordinateurs les engendrant ? Ne convient-il pas plutôt d'admettre, comme l'auteur le soutient d'ailleurs lui-même, qu'il n'y a pas véritablement de coordinateurs indépendants, mais que ce sont les schèmes eux-mêmes qui réalisent ce travail de coordination ? On voit que toute cette nouvelle conception des débuts de la psychogenèse de l'intelligence que Piaget esquisse ici soulève des problèmes et des choix théoriques tout à fait fondamentaux pour une théorie constructiviste de la pensée et de l'intelligence.

En bref, le caractère en partie énigmatique et problématique de cette conclusion ne doit pas nous empêcher de voir l'importance des réflexions précédentes pour le constructivisme génétique. Encore une fois, on est ici au départ de la construction psychogénétique des instruments logico-mathématiques de la connaissance.

Chapitre III : Morphismes et transformations relatifs à la rotation d'un disque (avec C. Monnier et J. Vauclair)

a. Le problème

Le problème posé à des enfants de 1 à 6 ans consiste à retrouver un objet mis, par eux ou par l'adulte, dans une des deux ou trois boîtes A, B, C fixées en des emplacements variés d'un disque que l'on fait tourner devant le sujet. Dans l'une des situations présentées aux enfants, la boîte contenant l'objet peut être isolée par rapport aux deux autres boîtes. Dans une autre, elle peut se trouver entre ces deux. Enfin, dans une troisième, elle se trouve à l'une des extrémités de la ligne droite sur laquelle les trois boîtes sont placées de manière contiguë ou non, etc. Après rotation, la place occupée par la boîte contenant l'objet est toujours occupée par une des autres boîtes (dans une situation toutefois, les boîtes ne sont pas déplacées par rotation du disque mais par translation horizontale ou verticale d'un support commun auquel elles sont fixées). La question se pose alors de savoir comment les morphismes construits avant la construction de la rotation « préparent la compréhension » de celle-ci (p. 47).



b. Les résultats

Les réactions initiales

Entre 1 et 2 ans, les enfants savent naturellement retrouver l'objet lorsqu'il n'y a qu'une boîte en jeu. Ce qui, selon Piaget, implique l'établissement d'une bijection entre les positions d'arrivée et de départ du contenant, et entre celui-ci et sa propriété de contenir un objet. Dès qu'interviennent plusieurs boîtes, les difficultés apparaissent, dans la mesure où le sujet doit se centrer sur celle contenant l'objet et la suivre dans ses déplacements sans laisser son attention se porter sur les autres. Ces difficultés sont accrues pour certaines situations, par exemple lorsque la rotation change l'emplacement de la boîte contenant l'objet par rapport à l'axe vertical (par opposition à un déplacement sur l'axe horizontal), ou bien lorsqu'elle se situe entre les deux autres et non pas à l'extrémité de la rangée de trois, ou encore lorsque les trois boîtes ne sont pas alignées, etc.

Les erreurs des enfants montrent qu'ils ne considèrent pas les emplacements ou les états terminaux comme le résultat de transformations (si le récipient est perdu de vue, il est considéré comme retrouvant son point de départ à la fin du mouvement).

La seconde étape

Vers 2 ans la situation où B est « entre » A et C est le plus souvent maîtrisée. Par contre, les problèmes persistent dans les cas où A, B et C forment un triangle équilatéral, ou encore si, dans le cas des translations, B est avant A et C près du bord du disque, ou au contraire, près du centre ; ils persistent également si une rotation de 180 degrés amène B plus près ou plus loin du bord ou du centre. La principale construction de cette étape est dès lors celle du « morphisme 'entre', qui est une correspondance d'un à deux éléments (B à A et C) conservant les deux relations de voisinage (BA et BC) et de séparation (AC) ». Il y a là « un début de relation d'ordre, mais qui se réduit [...] à un enveloppement linéaire, en tant que l'enveloppement est la source des voisinages et des séparations » (p. 53). Les transformations ne sont donc toujours pas maîtrisées, les solutions réussies dépendant des rapports de voisinage et de séparation.

Le troisième niveau

Les enfants arrivent à prendre appui sur de nouveaux indices statiques, comme l'isolement de B par rapport à AC en cas de rotation de 180 degrés, BAC étant placés sur une rangée horizontale. Mais dès que la rotation induit des changements relatifs de position, comme le passage de dessus à dessous de la boîte intéressante par rapport à une autre, les enfants échouent.

La quatrième étape (vers 4-5 ans)

Maintenant les sujets réussissent lorsque, par exemple, la rotation produit le passage de BAC à CAB, la boîte intéressante étant la B. Cette réussite est atteinte d'abord sur



le plan horizontal, puis sur le plan vertical. En ce cas, un sujet pourra par exemple justifier sa réponse en affirmant : « quand on tourne, celui qui est en bas devient en haut » (p. 57).

Dès ce niveau donc, l'enfant introduit une correspondance entre les positions des boîtes et les rotations (auparavant, il voyait bien les rotations, mais ne faisait pas le lien avec l'effet qu'elles ont sur les emplacements, sauf à déplacer de manière indistincte, en tant que mouvement quelconque, l'ancienne configuration). Les rotations sont maintenant « conçues comme pouvant modifier » les positions des boîtes les unes par rapport aux autres, du point de vue du sujet qui les observe. Mais s'il conçoit ce lien, c'est au coup par coup, de manière empirique et sans être forcément certain de l'effet de la rotation (pour une certaine rotation, un enfant pourra affirmer « ne pas savoir » si B sera à gauche ou à droite des autres boîtes). Ce caractère tâtonnant et progressif de la découverte des effets des rotations amène Piaget à considérer la présence « [d']échanges progressifs entre elles et les correspondances et non pas [une] action à sens unique » (p. 58). Ou encore : « c'est tantôt une correspondance réussie qui favorise l'appréhension d'un segment de rotation, tantôt le fait que celui-ci soit d'abord compris qui améliore le polymorphisme » (id.).

Cinquième étape

De 4 à 6 ans enfin, les réponses d'emblée correctes se multiplient dans toutes les situations ; la rotation est alors comprise comme constituant une transformation d'ensemble et « elle dirige alors les morphismes » (p. 59).

c. Conclusion

En conclusion, Piaget distingue deux sortes d'évolution à travers les cinq étapes. Lors de la première, qui concerne les étapes un, deux et trois, les correspondances correctes entre états se multiplient grâce à la découverte « d'indices statiques ». Les processus qui y interviennent « relèvent donc d'abstractions empiriques et de généralisations inductives » (p. 59). Quant à la seconde sorte d'évolution, elle concerne les rapports entre correspondances et transformations.

L'auteur commence à ce sujet par noter que les correspondances les plus élémentaires qui interviennent dans la première étape sont, comme c'était le cas pour celles examinées dans les deux premiers chapitres, le résultat d'une application des coordonnateurs d'identification et de changement de position (suivre des yeux la boîte qui se déplace). Quant à la question des rapports entre correspondances et transformations tels qu'ils se manifestent dans ce chapitre, voici quelles sont ses conclusions. Les cinq étapes peuvent se distribuer en cinq paliers, le premier allant de l'étape 1 au début de l'étape 3, le deuxième concernant la fin de l'étape 3, le troisième et le quatrième, le début et la fin de l'étape 4 et enfin le cinquième correspondant à l'étape 5.

Lors du premier palier, il n'y a de correspondances qu'entre des états. Lors du second palier, on constate des généralisations de certaines de ces correspondances, tout spécialement celle découlant de la construction de la relation « entre ». Au troisième palier, il y a un début de mise en correspondance entre certains états et des transformations partielles, suivi lors du quatrième palier par la « généralisation progressive



de ces correspondances nouvelles [avec] compréhension progressive des transformations en leur ensemble » (p. 60). Finalement, le cinquième palier se caractérise par le fait que « morphismes et transformations sont compris simultanément, en tant que les états sont conçus comme résultant nécessairement de ces dernières » (p. 61). Piaget ajoute que dès lors on peut parler de « morphismes transformationnels ».

Enfin, l'auteur se demande si l'affirmation selon laquelle les correspondances, contrairement aux transformations, n'ajoutent rien aux objets n'est pas valable seulement du point de vue de l'observateur et non pas du sujet considérant d'un œil nouveau tel ou tel objet (par exemple, lorsque sa perception de l'objet est enrichie par la construction de la relation « entre »). Du point de vue de l'action du sujet le problème ne se pose pas. Il se pose par contre du point de vue de la conception que le sujet se fait de l'objet. Mais comme ce sujet en vient lui aussi, une fois l'objet conçu avec ses nouveaux caractères, à opposer le cas où celui-ci est changé par ses propres actions, au cas où il ne fait, lui sujet, que découvrir des relations entre états qui, à ses yeux, préexistaient dans l'objet, la question se dissipe, ou, si l'on veut, prend une portée métaphysique dont Piaget peut se désintéresser.

Chapitre IV : Les correspondances entre trajectoires (avec E. Ackermann-Valladao et A. Blanchet)

a. Le problème

Cette recherche montre la toujours surprenante difficulté, chez des enfants jusqu'à 10-11 ans, de se représenter les effets d'un déplacement sur les parties d'un objet. Le problème qui leur est posé est le suivant. Soit, posés sur une feuille, deux anneaux liés par une tige rigide linéaire, ou trois anneaux liés par une tige rigide comportant deux segments droits formant un angle, ou encore trois anneaux sommets d'un triangle composé de trois tiges rigides. Il s'agit pour le sujet de reconstituer par le dessin les trajectoires des anneaux B et C, après que l'on a fait glisser la totalité du dispositif, le tracé de A étant, lui, marqué par un crayon passé dans ce dernier anneau. Selon les situations, le tracé laissé par le crayon est ou droit, ou ondulé ou encore en Z. Il paraît certainement évident à la majorité des adultes que, tout le dispositif étant pareillement embarqué au cours du déplacement visible, les distances entre les trois anneaux sont invariables, et cela sans que les trajets soient forcément parallèles, du moins dans le cas où on s'autorise des « circumductions », c'est-à-dire des mouvements de rotation autour d'un point du dispositif ; comme il devrait paraître évident que la position respective des trois anneaux à l'arrivée est la même que celle de départ. Les faits montrent que ce n'est que vers 10 ans que cette solution s'impose !



b. Les résultats

Première étape (4 ans) : Correspondances globales entre trajets 83

La seule situation où l'on constate des solutions en partie correctes est celle où les deux ou trois points sont déplacés horizontalement en ligne droite, et encore, à condition que dans le cas des trois points, les enfants voient le dispositif à son point d'arrivée (sinon ils dessineront ces points les uns sous les autres à l'arrivée). Dans cette situation élémentaire, la forme générale des trajets n'est d'ailleurs que très globalement reproduite. Si le déplacement ne se fait pas horizontalement, les points peuvent perdre leurs positions relatives les uns par rapport aux autres, et les trajets ne plus correspondre, sauf au proche voisinage des points d'arrivée. Dès lors « les seules correspondances pouvant être recherchées à ce niveau sont celles qui relient les trajets en leurs caractères globaux » (p. 66).

Deuxième étape (5-6 ans) : identité de forme dans les correspondances entre trajets

Les sujets de ce niveau comprennent que le déplacement est celui d'un solide, et que ses parties « sont bien obligées de suivre le même chemin » (p. 66). Mais cela se traduit par le seul parallélisme des chemins suivis (approximatif en cas de trajets obliques ou courbés), sans que les points eux-mêmes soient à chaque instant, y compris à l'arrivée, conçus comme invariants les uns par rapport aux autres. Ce parallélisme leur fait par ailleurs faussement croire qu'un des trois points ne peut pas venir prendre position sur une partie d'un trajet par lequel a déjà passé un autre point (ce que dément par exemple le déplacement en zigzag). Un passage de l'analyse de Piaget est éclairant en ce qui concerne le privilège que l'enfant de cette étape attribue à « l'enveloppant » (à la totalité) par rapport aux parties qui la composent : « on doit distinguer au moins trois sortes d'enveloppements, selon que l'enveloppant est autre chose que la réunion et l'articulation des parties enveloppées, selon qu'il se réduit à l'ensemble de ces articulations, mais sans encore de conservations quantitatives et selon qu'enfin le tout soit quantitativement équivalent à la somme des parties » (p. 67). Or, à ce niveau, seule la première forme d'enveloppement est respectée. Le sujet se satisfait du fait que les deux (ou trois) éléments du dispositif réalisent un même trajet global.

Troisième étape (7-8 ans) : débuts de la commutabilité de l'enveloppé, mais encore en conflit avec le trajet de l'enveloppant

Piaget rappelle comment il en est arrivé à rendre compte des jugements de conservation des quantités (par exemple des longueurs) à travers les modifications apportées à un objet (déplacement du tout pour les longueurs, déplacements des parties de l'objet dans d'autres cas) par le fait que l'enfant saisit alors « qu'on n'ajoute rien au terme d'un déplacement qui n'ait été enlevé au point de départ » (p. 68). Lors de cette troisième étape, c'est cette même commutabilité qui est partiellement respectée pour



certaines positions des trois objets dans la suite des trajets (par exemple, respect de la position en triangle à l'arrivée ; mais non respect pour les positions intermédiaires, ou vice versa). Le problème auquel sont confrontés les sujets de ce niveau est de concevoir comment, d'un côté, les points du dispositif sont « embarqués », mais pas forcément de façon identique, avec le mouvement d'ensemble du dispositif, et comment, de l'autre côté, ils ne changent pas de distance les uns par rapport aux autres. Il y a là deux systèmes de référence à coordonner : celui interne à la totalité déplacée, et celui des éléments de cette totalité par rapport à la surface sur laquelle le tout se déplace.

Quatrième étape (9-10 ans) : coordinations et quantifications

A ce niveau, pour chacune des positions tout au long du déplacement du tout, les sujets vont avoir pour visée de conserver les distances entre les points A, B et C. La « coordination des correspondances en jeu » (les trois trajets, les trois positions à chaque étape du déplacement, etc.) est alors réalisée « grâce à des quantifications » (p. 72).

c. Conclusion

Cette recherche apporte deux résultats importants. D'abord, elle confirme que la notion de solide indéformable est le produit des constructions euclidiennes, et non pas leur point de départ empirique. Ensuite, elle montre comment la notion de déplacement se différencie et change de statut au cours des étapes de sa construction.

Au point de départ, le déplacement « n'est qu'un changement de position dû à un coordinateur » (p. 73). Seuls l'identité qualitative du mobile et son point d'arrivée sont mis en correspondance. Les positions intermédiaires du mobile ne le sont pas. A l'étape suivante, le déplacement de l'enveloppant (du mobile considéré de manière globale) est l'élément dominant qui emporte avec lui le déplacement des parties enveloppées (d'où le parallélisme global des trajets se ressemblant par la seule forme).

C'est seulement avec le début des opérations concrètes que « le déplacement est en train d'acquérir [...] un statut de transformation, avec ses caractères de compositions nécessaires, [et] de solidarité des modifications et des conservations » (id.). Le sujet découvre alors « que l'enveloppement n'est pas autre chose que le système d'ensemble des articulations des éléments enveloppés » (id.), le déplacement du tout ne modifiant pas les positions respectives de ses parties. Mais à cette étape « les transformations restent locales » (p. 74), les correspondances incomplètes (les bijections entre les points au départ et à l'arrivée) ne se généralisent pas aux situations intermédiaires ; ou bien, si celles-ci sont relativement bien considérées, la correspondance entre les extrêmes ne l'est plus.

Finalement, ce qui permettra au sujet de concevoir les déplacements du tout et de ses parties de manière à conserver les positions respectives de celles-ci, c'est la considé-

⁸³ Notons que, dans cette recherche, Piaget aurait pu sans problème utiliser la notion de stade !



ration des distances exactes entre elles, et donc la mesure : « ce sont [...] ces valeurs mesurables qui seront transférées sans changements, ce qui entraîne en ce cas les correspondances au lieu d'en résulter » (p. 74). De là provient la notion de solide indéformable.

Chapitre V : Les correspondances entre éléments sériables dans une situation de contenant à contenu (avec D. Voelin-Liambey et I. Berthoud-Papandropoulou)

a. Le problème

Le problème est simple et apparaît même trivial : on demande au sujet de percer des trous ou des fentes dans une boîte de manière à pouvoir introduire dans celle-ci huit bâtons de différentes longueurs⁸⁴. Les opérations qui permettraient la solution complète du problème seraient pour l'essentiel fondées sur la transitivité et la récurrence, « avec construction de classes, équilibre entre les négations et les caractères positifs et conversions des séries <<< en >>> ou l'inverse » (p. 76). Différentes situations sont utilisées. Par exemple, si l'expérimentateur voit qu'un enfant fait tout de suite un grand trou pour y passer les bâtons, il pourra lui demander de faire une nouvelle fente laissant passer seulement tel sous-groupe d'éléments. En une autre situation, le problème est posé sous forme de devinette : deux trous C et F (correspondant aux bâtons 3 et 6 dans la série des huit) étant déjà creusés dans la boîte, l'expérimentateur demande, entre autres questions, quels bâtons passeront s'ils peuvent passer par F, mais non par C. Les réponses aux trois grands types de situations sont exposées dans trois sections différentes dans la mesure où il n'y a pas une stricte correspondance entre les étapes des réponses pour chacune des situations.

b. La situation I

La consigne est simplement de faire passer tous les bâtons dans la boîte. Les solutions s'échelonnent selon six étapes.

Lors d'une première étape, les enfants dessinent certes une seule fente, mais pas nécessairement suffisamment grande pour faire passer le bâton le plus grand. Un apprentissage, progressif et laborieux, permet de produire la solution, mais « sans compréhension de sa raison » (p. 78) : un trou doit être forcément égal ou plus grand que le bâton qu'il s'agit de faire passer. A une étape IB, les bâtons sont distribués en paquets (par exemple les petits, les moyens, les grands), avec pour chaque paquet une fente. Il y a donc progression vers une solution du type : un trou pour chaque bâton.

La seconde étape (enfants de 4-5 ans environ), qui prolonge ce travail de différenciation, est celle de la bijection entre les fentes et les bâtons, bijection découverte empiriquement et progressivement. Si ensuite on demande au sujet s'il serait possible de se contenter d'un seul trou, il le nie, bien qu'il puisse admettre ponctuellement que tel élément plus petit pourra passer par tel trou correspondant à un bâton plus grand.



L'enfant de ce niveau tend ainsi à introduire une fausse symétrie : les bâtons plus grands qu'un élément, mais aussi les plus petits, ne pourraient pas passer par le trou correspondant à cet élément (ce qui n'empêche pas le sujet de faire passer un des plus petits lorsqu'il n'est pas en train de considérer la tâche dans son ensemble). Le travail de différenciation initialisé par les enfants de niveau IB est donc poussé à l'extrême en ce qui concerne les éléments, mais sans qu'il porte sur le sens des parcours.

A la troisième étape, les sujets procèdent à une intégration progressive au moyen d'équivalences entre relations (les plus petits par rapport à un bâton sont conçus comme pouvant passer par la même fente que celui-ci) aboutissant à des surjections plus ou moins complètes des bâtons par rapport aux fentes. Cette intégration se fait encore sur un mode empirique, avec des éléments non toujours contigus choisis comme pouvant passer par un trou ; ceux non intégrés étant alors rangés avec les éléments choisis pour un autre trou, le nombre de passage n'est pas conçu comme pouvant être réduit à un. Le raisonnement trompeur qui guiderait les enfants de ce niveau serait de croire que, puisque « les grands bâtons ne peuvent pas entrer dans les petits trous », alors il y a nécessité de grands et de petits trous (p. 82). Les enfants de ce niveau ne dominent donc encore ni la transitivité ni les inférences récursives.

Lors de la quatrième étape, bien que les enfants commencent par la solution bijective (découper une fente pour chaque bâton), ils comprennent qu'un trou suffit pour plusieurs bâtons, ce trou commun devant forcément « correspondre au plus long d'entre eux » (p. 83), et ils arrivent dès lors progressivement et par tâtonnements à la solution du trou unique H. Le raisonnement type utilisé par ces enfants manifestant un « début de transitivité » est alors le suivant : « tous ceux qui sont plus petits que les autres on peut les faire passer » (p. 84). Ils n'ont pas encore l'idée de la récurrence qui leur permettrait de partir de l'élément final pour remonter au premier, et de trouver dès lors d'emblée la solution la plus économique (une seule fente).

La dernière étape est finalement celle de la compréhension et de l'application immédiate de cette solution qui exploite la récurrence. Les sujets comprennent d'emblée le fait qu'au dernier élément de la série correspond une classe totale, incluant l'ensemble des classes liées à chacun des éléments précédents et qui sont elles-mêmes successivement incluses les unes dans les autres. Les éléments de la classe totale peuvent dès lors tous être mis en surjection avec le trou unique et suffisamment grand pour leur permettre d'entrer dans la boîte.

c. La situation II

Dans cette situation il est demandé aux enfants de faire une fente permettant de n'introduire qu'un nombre réduit de bâtons. Le problème ici est plus difficile dans la mesure où il s'agit de trouver un sous-ensemble sans omettre aucun élément lui appartenant et de choisir un trou permettant d'exclure l'ensemble des autres éléments. Six étapes sont cette fois dégagées.

⁸⁴ La solution est évidente à nos yeux d'adulte, mais Piaget raconte une anecdote selon laquelle Newton lui-même aurait fait percer deux trous dans une porte pour que sa chatte et son chaton puissent tous deux entrer chez lui.



La première (4-5 ans) est celle d'une recherche de bijection due à une déformation de la consigne : trouver une fente permettant de faire passer tel sous-ensemble de bâtons tend à être compris comme trouver un trou pour chaque élément de ce sous-ensemble. Si la consigne est de ne faire passer qu'un petit nombre de bâtons (2 ou 3), les enfants prennent les plus petits ; sinon, ils tendent à prendre les plus grands.

La deuxième étape est caractérisée par une sorte de régression apparente : les enfants prennent le nombre indiqué de bâtons, mais choisis de longueur quelconque, et ils prennent un trou plus grand que le plus grand de ceux-ci.

La troisième étape (par laquelle ne passent pas forcément tous les enfants) se caractérise par un comportement des plus intéressants. Les enfants peuvent continuer à choisir n bâtons de longueur quelconque (le 3, le 4 et le 6 par exemple), puis ils fabriquent un trou rectangulaire ou de forme polygonale qui enveloppe les bâtons placés par ordre de grandeur les uns à côté des autres. Au demeurant, dans cette deuxième situation, cette tendance à faire un trou trop grand persistera jusqu'à la cinquième étape.

Lors de la quatrième étape, les enfants choisissent cette fois des éléments tous contigus (mais continuant à ne pas inclure le ou les plus petits d'entre eux). Pour le trou, les sujets peuvent choisir celui correspondant à l'élément le plus grand, ou à un des éléments plus grands que ceux adoptés, mais dans le premier cas, en se demandant si ce plus grand élément va passer par la fente qui lui correspond. L'analyse détaillée des réponses montre que le problème auquel sont confrontés les sujets de ce niveau est de délimiter l'ensemble complémentaire des éléments pouvant passer par la fente. Ils choisissent un grand trou, puis cherchent à éliminer les éléments en surnombre par rapport au nombre désigné dans la consigne. Pour Piaget, c'est là un nouvel indice que « la sousjection est plus malaisée à dominer que l'injection » (p. 89 ; la sousjection, c'est-à-dire exclusion de la surjection des éléments correspondant au trou ceux qui ne conviennent pas). La frontière entre une sous-classe et sa complémentaire faisant problème, le sujet va identifier la première non pas à la somme de ses éléments, mais en cherchant à l'extérieur de quoi l'envelopper, et en l'occurrence en trouvant cette délimitation dans le trou englobant (et non plus comme les sujets de l'étape précédente en traçant une fente enveloppant visiblement les éléments de la sous-classe).

Lors de la cinquième étape (vers 6 ans), les bâtons choisis sont cette fois tous les plus petits. Mais le trou choisi reste celui correspondant à l'élément juste plus grand que ceux-là. Les enfants savent alors bien que ce trou permet aussi de faire passer le bâton juste plus grand que ceux admis par la consigne, mais c'est toujours la seule solution qu'ils trouvent pour délimiter la sous-classe des éléments admis.

Ce n'est qu'à la sixième étape (vers 7 ans) que cette dernière solution est enfin dépassée et que les correspondances adéquates sont trouvées entre les éléments et les sous-classes en jeu.

d. La situation III

Etant donné deux trous, le problème est pour l'enfant de trouver les éléments qui passent (ou ne passent pas) par les deux ou par l'un d'entre eux seulement (l'une des



questions n'ayant pas de solution possible : trouver un bâton qui passe par C mais pas par F).

Là encore six étapes sont décrites, les deux premières se caractérisant « par l'incapacité de relier C et F en un tout simultané et les suivantes par leur coordination progressive » (p. 90).

Lors de la première étape, les enfants ne tiennent compte que d'une partie de la consigne, celle qui concerne soit le C soit le F. Lors de la seconde, ils adoptent sans autre la solution bijective (un bâton pour chaque fente). Comme le sujet attribue à chaque trou la capacité de ne laisser passer que le bâton de même longueur que lui, il lui est facile de trouver des bâtons ne passant ni par C ni par F.

L'étape trois est celle du « passage de la bijection aux débuts de la surjection » (p. 91). Un enfant pourra par exemple choisir les bâtons 8 (au lieu de 6 pour F) et 2 (pour B) pour la consigne « un bâton passant par B et F », avant de désigner le seul bâton 2. Pour la consigne F et non-B, les sujets la déforment (donnant une solution « ni-ni », ou une solution « et »).

Lors de la quatrième étape (vers 6-7 ans), les enfants recherchent en tâtonnant la surjection, mais sans atteindre alors la totalité des sous-classes (soit par exemple 1, 2 et 3 pour la sous-classe définie par « passant par F et par C »). Pour la question plus difficile F et non-C, ils recherchent aussi la surjection, mais avec encore davantage d'erreurs ou de lacunes dans la constitution de la sous-classe 4, 5 et 6.

Lors de la cinquième étape les sujets parviennent à trouver la sous-classe des éléments répondant à la consigne F et non-C, « mais par choix successifs et sans anticipation » (p. 93).

Quant à la sixième étape, les solutions correctes sont données d'emblée. Les sujets conçoivent immédiatement les sous-classes adéquates, en élargissant leur réponse non seulement à un élément répondant à la consigne, mais s'il y a lieu à l'ensemble des éléments adéquats, cela par des formules du type « celui-là, mais aussi ceux-ci ».

e. Les deux sens de parcours

Plusieurs réactions des plus jeunes sujets aux différentes situations examinées révélant la difficulté chez eux de coordonner les deux sens de parcours, les expérimentateurs ont examiné ce point de plus près en interrogeant les enfants sur le nombre d'éléments se trouvant à gauche du plus grand, après qu'il leur ait été demandé combien d'éléments se trouvent à droite du plus petit (le nombre d'éléments considéré est ajusté selon les connaissances arithmétiques des sujets). Il est alors étonnant de constater que, jusque vers 6-7 ans, les enfants ne déduisent pas immédiatement du nombre de plus grands bâtons par rapport au plus petit le nombre égal de plus petits par rapport au plus grand.

Lors d'une deuxième étape, les enfants reconnaissent que la classe totale est bien la même, qu'on la répartisse en $1 + 7$ ou en $7 + 1$. La permanence du tout ne suffit pas à assurer l'égalité des parties, cela alors même que concevoir les plus grands que 1 ou les plus petits que 8 revient dans les deux cas à enlever une unité au tout.



Une troisième étape consistera alors précisément pour le sujet à considérer que, puisque dans les deux cas on enlève un élément à la même totalité, il en résulte l'égalité numérique des parties.

C'est seulement dans une quatrième et dernière étape que, concevant d'emblée la relation de différence de grandeur comme réciproque, les enfants en déduiront directement la solution correcte (pour le nombre de plus petits) après avoir compté le nombre de plus grands (par rapport au plus petit). Un enfant pourra par exemple dire que le nombre reste le même, parce que « c'est le contraire, la même chose que l'autre mais à l'envers » (p. 96).

f. Conclusions : prémorphismes, morphismes et transformations

Aux étapes V pour la première situation, VI pour les deuxième et troisième situations, les morphismes sont « déterminés par les transformations [...] opératoires liées aux structures de sériation » (p. 97). Piaget recense alors les opérations supposées intervenir.

Opérations et morphismes

Guidé par la notion et l'opération de récursivité, le sujet sait d'emblée que le terme d'une série est composé de l'addition successive des différences entre ses prédécesseurs. La notion de différence (ou ici de dépassement) devient opératoire, alors qu'auparavant les dépassements étaient conçus comme hétérogènes. Chez les plus jeunes sujets, en lieu et place de la récursivité, c'est une fausse symétrie qui s'impose (par exemple, puisqu'un grand bâton ne passe pas dans une petite fente, un petit bâton ne pourrait ou n'aurait pas à passer dans une grande).

La transitivité guide elle aussi l'établissement des correspondances (surjections et sousjections réussies). L'enfant de l'étape terminale sait que si un bâton passe par la fente F, il passe forcément par C. Quant à l'absence de transitivité, elle se manifeste surtout chez les sujets qui, faisant passer 1, 2 et 4 dans C, et 6, 7 et 8 dans H n'en déduisent pas que 1, 2 et 4 passent aussi dans H et que ce dernier trou suffit donc à faire passer tous les bâtons dans la boîte. La transformation par réciprocity des sériations permettra elle aussi l'établissement des correspondances adéquates, de même que l'opération d'inclusion pour les classes et sous-classes d'éléments considérés. Enfin Piaget mentionne une dernière opération permettant de produire ces correspondances : la négation, qui n'est plus la résistance d'un objet (comme c'est au contraire le cas chez le jeune enfant qui, pour trouver une bonne réponse, sait exploiter l'impossibilité pour un trou de laisser passer les bâtons plus grands que lui).

Ces cinq opérations, dont deux (l'inclusion et la négation) relèvent de la logique des classes et deux autres (la réciprocity et la transitivité) de la logique des relations sont préparées dès le niveau préopératoire « sous l'action des prémorphismes se constituant à ces étapes » (p. 99).



Des prémorphismes et transformations préopératoires aux morphismes et transformations opératoires (première situation)

Piaget donne comme exemple de l'appui que la construction des transformations peut trouver dans les prémorphismes le cas des bijections, engendrées lors de la deuxième étape (dans la situation I, où le sujet commence par regrouper par exemple les bâtons en petits, moyens et grands, puis découpe un trou par bâton). Une fois atteinte, la bijection facilite les premiers essais de sériations, mais à condition que s'y ajoute le prémorphisme du successeur (prémorphisme, car la relation s'appuie sur les constats perceptifs et n'a pas encore de statut opératoire). Mais la constitution de ce prémorphisme du successeur dépend lui-même d'un prémorphisme de mise en correspondance des quelques relations considérées et rendues dès lors suffisamment homogènes pour être considérées de même nature. A partir de là, les conditions d'un début de sériation étant acquises, il y a progression avec appuis mutuels des prémorphismes et de la transformation (sériation) en construction. Des surjections (plusieurs bâtons pour une même fente) apparaîtront qui, finalement, laisseront place à une seule surjection (tous les bâtons pour une seule fente).

Piaget note aussi que les morphismes et les transformations opératoires qui apparaissent au terme de ces appuis mutuels sont caractérisés par une simultanisation de l'ensemble des composantes en jeu (alors qu'au départ le simultané se réduit aux deux termes d'une relation⁸⁵), c'est-à-dire des morphismes et des transformations qui alors « constituent un tout simultané » (p. 101).

Des prémorphismes et transformations préopératoires aux morphismes et transformations opératoires (deuxième et troisième situations)

La même démarche est entreprise par l'auteur pour montrer comment les premières transformations (récursivité, transitivité et inclusion) sont préparées par des prémorphismes dans la deuxième situation. Mais à ses yeux, c'est dans le cas de la troisième situation que « les relations entre morphismes et transformations sont les plus claires » (p. 102). Piaget réaffirme alors que la difficulté majeure de cette situation, comme celle du problème complémentaire sur le nombre d'éléments plus grands (ou plus petits) que le plus petit (ou le plus grand), résiderait dans la nécessité de considérer les liens de transitivité et de réciprocity dans les relations en jeu (plus petit et plus grand). En particulier, ce n'est qu'en dernière étape que, grâce à la transitivité, les sujets parviennent à voir immédiatement l'impossibilité de résoudre le problème « passer par C, mais non par F », c'est-à-dire à voir d'emblée la contradiction entre le passage par le petit trou et le blocage en un plus grand.

La raison du lien entre réciprocity et transitivité serait à chercher dans la récursivité. Si la longueur totale de H est la somme de A et des différences successives de A avec B, de B avec C, etc., selon Piaget (qui ici ne fait pas preuve de grande clarté) « cela entraîne, d'une part la transitivité, mais cela implique aussi, d'autre part, la possibi-



lité d'enlever des différences aussi bien que les ajouter, d'où la réciprocité des $>$ et des $<$ que les correspondances ne sauraient assurer à elles seules » (p. 103).

Si la relation qu'essaie d'établir ici l'auteur entre morphisme et transformation peut paraître moins éclairante que celle attachée à son examen de la première situation, la conclusion générale qu'il tire de ses analyses est, elle, plutôt claire, à une affirmation près qu'il conviendra de nuancer. Commençons donc par prendre connaissance in extenso de ce qui est par ailleurs le dernier paragraphe de ce chapitre :

En un mot, les prémorphismes préparent les transformations, par voie de constatations fondées par les essais ; et les transformations, une fois constituées sous la forme d'opérations et non plus seulement d'actions transformantes, locales et partielles (donc préopératoires), remplacent les prémorphismes, simplement obligés par les contenus observés, par des morphismes nécessaires, en tant que leur forme est imposée à titre de résultats des opérations en jeu. Il faut, en effet, bien comprendre qu'avant le niveau des transformations opératoires (récursivité, transitivité et réciprocité complètes avec construction de classes emboîtées et de négations) il en existe de préopératoires, partielles, locales et sans nécessité faute de fermeture, et que leur constitution est due [!] aux prémorphismes, bien que ceux-ci ne résultent d'abord que des comparaisons entre états, avant de lier ceux-ci aux actions transformantes, et avant qu'ils ne se constituent en morphismes stricts une fois intégrés dans les structures opératoires. On trouve donc à tous les paliers, des correspondances et des transformations, mais leurs rapports se modifient d'un palier au suivant avec inversion de sens lors de l'intégration finale. Néanmoins, avant cette fusion terminale, on peut dire que si chaque transformation partielle doit être préparée par des prémorphismes, c'est elle qui conduit à la découverte des suivants : de façon générale ce sont donc les transformations, même préopératoires, qui constituent le moteur principal du progrès d'une étape à l'autre (sauf en ce qui concerne les simples généralisations extensionnelles d'une correspondance d'abord incomplète) (p. 103).

La réserve que l'on peut faire à ce passage porte sur l'affirmation selon laquelle la constitution des transformations préopératoires « serait due » aux prémorphismes. Après avoir ignoré le rôle des correspondances dans ses anciens travaux (cf. l'introduction de cet ouvrage), il conviendrait d'éviter de tomber dans le piège inverse, c'est-à-dire de réduire, comme le logicisme, les actions à des relations. Il vaut donc mieux utiliser le verbe « préparer », comme l'auteur le fait d'ailleurs quelques lignes plus loin, ainsi que dans de nombreux autres passages. Une action relie alors des états que, n'étant pas encore au niveau opératoire, le sujet aurait bien eu de la peine à engendrer lui-même ; comme ces états préexistent, ils facilitent et donnent son sens à l'action en jeu, ils la préparent donc avant même qu'elle ne soit effectuée.



Chapitre VI : Correspondances et compositions relatives à la résistance de chaînes (avec E. Marti et S. Wagner)

Cette recherche comporte deux situations dont la première est semblable au problème traité dans le précédent chapitre, la seconde ajoutant au contraire des questions nouvelles dont un exemple typique est de savoir ce qui se passe si on compose ensemble deux chaînes tirant l'un ou l'autre de cinq poids donnés, ou encore une composition de deux des cinq poids.

a. Section I / Les correspondances simples

Soit cinq poids de grandeur croissante, et soit cinq chaînes de résistance également croissante, choisies de telle manière que la première peut soulever et supporter seulement le poids le plus faible, la seconde, le poids suivant et ainsi de suite. Chaque chaîne est en outre colorée d'une couleur similaire au poids auquel elle correspond, et il est précisé au départ au sujet, pour chacune d'entre elles qu'elle est « juste assez forte » pour faire monter le poids de même couleur qu'elle. En dépit de cette aide, les réponses des enfants lorsqu'on leur demandera quel poids on peut suspendre à quelle chaîne sans la casser sont similaires aux réponses obtenues dans la recherche où il est question de fentes permettant de faire passer tels bâtons mais non pas tels autres dans une boîte. Là aussi on trouvera des comportements de bijection, ou encore des réponses basées sur une fausse symétrie (exemple : un poids faible pouvant être porté au moyen d'une chaîne forte, un poids fort pourrait l'être en conséquence au moyen d'une chaîne faible). Là aussi on constate dès la deuxième étape des sortes de transitivités locales.

Un élément nouveau dans cette recherche paraît être la dissymétrie, lors d'une troisième étape, entre les prévisions sur la possibilité de « tenir » ou de « monter » et celles sur la possibilité de « se casser ». Par tâtonnements successifs, le sujet de cette étape peut finir par prévoir que si une chaîne a supporté tel poids, elle va supporter en conséquence tous les poids plus petits. Par contre, si on interroge le sujet sur ce qui va se passer si on met un poids plus lourd (les poids ayant été tous sériés et les expérimentateurs insistant auprès des enfants sur le fait qu'une chaîne ne peut porter de poids plus lourd que celui occupant la même place dans la série des poids), l'enfant n'en croit pas moins que l'un ou l'autre des poids les plus lourds pourra ne pas briser une chaîne ne pouvant en fait l'élever.

Enfin, en dépit de l'intervention de facteurs physiques (poids et directions des actions en jeu) qui sembleraient faciliter les solutions de surjections lors de la troisième étape (correspondance sériale par tâtonnement, du moins pour l'action de soulever), c'est finalement au même niveau de 7-8 ans que « les surjections sont généralisées et immédiatement déduites dans les deux sens possibles de la correspondance sériale » (p. 111).

⁸⁵ Notons entre parenthèses que cette simultanéité, même sous sa forme élémentaire, pourrait bien être une caractéristique essentielle de la conscience (comme Kant l'avait en un sens déjà remarqué avec sa notion de synthèse).



b. Section II / La composition des chaînes

Selon l'enfant, que se passe-t-il lorsque deux chaînes sont liées ensemble ?

Les étapes I et II

Lors d'une première étape, les sujets considèrent que la succession des deux chaînes a plus de pouvoir qu'une seule chaîne, mais sans additivité quantitative, sauf pour deux chaînes identiques qui font que la succession peut avoir « la force des deux » (p. 112).

Lors d'une deuxième étape, la liaison des deux chaînes est conçue comme devant permettre de supporter chacune le poids lui correspondant. Mais par ailleurs les sujets peuvent aussi différencier leurs réponses selon l'ordre dans lequel sont attachées les deux chaînes (par exemple 1 + 3 soulèvera A mais non pas B à D, alors que 3 + 1 soulèvera A, B et C). Des enfants de ce niveau (entre 5 et 6 ans environ) pourront même donner des débuts d'explication assez avancée à la composition erronée des forces qu'ils imaginent se passer au sein des chaînes reliées. Un enfant pourra par exemple dire que dans une composition 4 + 3, la chaîne 4 va aider la 3 à porter le poids D.

La deuxième étape se distingue donc de la précédente en ce que les enfants substituent aux surjections abusives initiales des recherches de bijections entre les chaînes composantes de la succession et les poids à soulever.

Les étapes III à V

L'étape III (vers 7-8 ans) se caractérise par des réponses correctes. Le sujet sait que la chaîne la plus faible n'est pas renforcée par l'adjonction de chaînes plus fortes, et qu'elle craquera dès que l'on met un poids trop lourd pour elle. Il sait aussi que lier ensemble deux chaînes de même force (par exemple 2 + 2) ne double pas la force du système résultant, celui-ci se brisant si on y suspend un poids trop lourd pour chacune des chaînes prises isolément (dans l'exemple, pour le poids C).

Pourtant, les réponses du sujet de ce niveau montreront de manière spectaculaire les limites de sa compréhension dans les cas où deux poids, et non plus un seul, sont suspendus aux assemblages de deux (ou plusieurs) chaînes. Par exemple un sujet qui affirme correctement que l'assemblage 2 + 3 cède avec un poids C n'en soutiendra pas moins que le même assemblage peut lever les deux poids B + C liés ensemble (car 2 soutient B et 3 soutient C). C'est donc la bijection qui continue ici à guider les réponses de l'enfant.

L'étape IV (9-10 ans) semble d'abord refléter une régression dans la mesure où les sujets oscillent entre les réponses correctes des enfants du niveau précédent (III) et celles, incorrectes, du niveau II. Ils pourront par exemple soutenir que 5 + 1 soulèvent tous les poids pris isolément « parce que 1 tient A et 5 tient E » (p. 115). Ou encore, ils croiront que 4 + 4 + 4 est plus fort que 4, parce que chacun ajoute sa force au système des deux autres (cela serait vrai si les chaînes étaient montées en parallèle), cet ajout restant encore largement incompris. C'est alors visiblement le fait de ne plus procéder par simple bijection mais de chercher à comprendre les interactions



dynamiques entre les composants du système élévateur qui fait que ces sujets donnent des réponses en régression apparente par rapport à ceux du niveau précédent. Mais comme les recherches des années 60 sur la causalité et plus particulièrement sur la composition des forces l'avaient montré, ce n'est que lorsque les sujets sauront composer les forces en tenant compte des directions en jeu qu'ils seront à même de concevoir correctement les interactions entre objets (ici entre chaînes).

Enfin, les sujets du cinquième stade se caractérisent principalement par leur capacité à tenir compte des directions. Ce n'est pas seulement les poids qui tirent les chaînes vers le bas, mais chaque chaîne de la suite est elle-même tirée vers le bas par ce qui lui est suspendu en même temps qu'elle le tire vers le haut. Chez ces sujets, il n'est donc plus question qu'une chaîne puisse être aidée par une autre lorsqu'on les lie ensemble. Par contre ils pourront affirmer spontanément que la chose serait différente si les chaînes étaient liées parallèlement les unes aux autres. En ce cas il y aurait effectivement addition de leurs forces respectives.

c. Conclusions

L'intérêt de cette recherche par rapport à la précédente est d'ajouter une dimension physique à des questions de covariations entre séries. A côté des transformations opératoires propres au sujet interviennent des transformations réelles produisant les régularités constatées, mais aussi des transformations « variationnelles » (p. 118) imaginées par les sujets lors des premières étapes. Lors de celles-ci, les sujets vont, sauf exception, faire des hypothèses prédictives qui ne font que redoubler les correspondances établies entre les éléments en jeu (par exemple 2 supporte B, 4 supporte D, donc $2 + 4$ supporterait $B + D$), même si elles paraissent explicatives à leurs yeux. Par contre, dès la quatrième étape, les sujets introduisent des hypothèses véritablement explicatives en ce qu'elles visent les transformations réelles qui pourraient produire les correspondances observables. En ce cas, « les transformations [...] détermineraient les correspondances à titre de résultats nécessaires » (p. 118).

Pourtant, même si elles ne sont qu'illusoirement explicatives, les transformations « variationnelles » imaginées par les jeunes sujets (par exemple $4 + 2$ qui soutient D parce que 4 soutient D) peuvent « préparer » les « transformations valables finalement atteintes, soit que le sujet parvienne à un système local et partiel de transformations (comme à l'étape III quand les deux chaînes soulèvent un seul poids, mais non plus deux à la fois), soit que les covariations imaginées se trouvent démenties par les correspondances observées, ce qui oblige à chercher mieux » (p. 119). De plus, les fonctions ou correspondances vérifiées peuvent préparer l'accès aux transformations véritables dans la mesure où, une dépendance étant constatée (par exemple la dépendance par rapport à la chaîne la plus faible), le sujet cherchera tôt ou tard à en connaître les « raisons ». C'est alors « que se constitue solidement un système de transformations effectives et des morphismes conçus à titre de conséquences nécessaires » (id.).



Chapitre VII : Correspondances et transformations dans le cas de l'intersection (avec C. Voelin)

a. Introduction

Le problème théorique que pose d'emblée Piaget est de savoir si la construction de la réciprocité entre les correspondances surjectives et multijectives de l'intersection de deux ensembles par rapport à ceux-ci ($A \leftrightarrow AB \leftrightarrow B$: deux flèches arrivent sur un élément de AB , et réciproquement deux flèches quittent cet élément) « suffit à la compréhension de l'intersection ou s'il faut y ajouter des opérations de classes en extension » (p. 121). Si le second cas se confirme, il conviendra alors de préciser la nature des relations entre ces correspondances et ces transformations opératoires.

Le problème auquel sont confrontés les enfants est le suivant. Etant donné deux ensembles d'animaux $A1$ et $A2$, avec leur intersection $A1A2$ (dans la première de trois situations proposées : 3 canards non-bleus, 2 bleus non-canards et 3 canards bleus), le sujet sera invité à comparer ou compter les extensions de $A1$ et de $A2$ (6 et 5 dans l'exemple), puis, après qu'ils ont été cachés, à dire combien il y a d'animaux en tout (lors des premières étapes les sujets diront 11). Ensuite on fera comparer cette réponse avec le constat que si on compte tous les objets visibles, il n'y en a que 8. En fin de séance, les enfants seront en outre interrogés sur le problème classique de l'inclusion.

b. Etape I (7-8 ans)

Lorsque, dans la première situation décrite ci-dessus, on demande par exemple de comparer le nombre de canards et le nombre de bleus, les enfants ne tiennent pas compte des éléments appartenant à l'intersection $A1A2$. Lorsqu'il s'agira pour eux d'expliquer pourquoi le nombre obtenu en additionnant les deux extensions (dans ce cas, 11) n'est pas égal au nombre d'objets (8), ils ne parviendront pas sans aide à comprendre que les objets de l'intersection doivent être énumérés deux fois, c'est-à-dire à faire intervenir la multijection (tel objet compte deux fois), ce qu'ils pourront justifier par surjection (un objet étant à la fois canard et bleu). Mais puisqu'ils parviennent à comprendre qu'un objet peut être le point d'arrivée d'une surjection et le point de départ de la multijection réciproque, comment se fait-il qu'il n'y ait pas chez eux de « compréhension durable de l'intersection » (p. 124) ? C'est que ces sujets ne penseraient pas en termes de classes et de sous-classes, mais seulement en termes de mises en correspondance alors considérées successivement, les additions explicatives de la différence entre 11 et 8 étant elles aussi conçues comme successives (« on en rajoute encore un »). En d'autres termes, « pour construire des intersections il est clair qu'il faut disposer de classes en extension, avec réglage du ' tous ' et du ' quelques ', tandis que les correspondances ne connaissent que les rapports 1 à 1, 1 à plusieurs, etc. » (id.); ce qui implique que les correspondances pourront dès lors porter non seulement sur les propriétés des objets, mais aussi sur celles des classes.



c. Etape II (8-9 ans)

Lorsqu'il s'agit de comparer la quantité de canards à la quantité de bleus (cas de la première situation), les enfants tiennent compte maintenant de l'intersection (il y a pour eux plus de canards que de bleus). Mais alors, contrairement aux sujets du niveau précédent, ils seront tellement surpris par la différence entre le nombre $6 + 5$ et le nombre total d'animaux (8) qu'ils remettront en question leur façon de concevoir les collections en présence et de comptabiliser les deux extensions : « pour faire 8, j'aurais dû faire 6 et 2 », dira un sujet ; en d'autres termes il n'aurait pas dû, selon lui, compter dans les bleus les canards bleus (p. 126). Un autre sujet dira ainsi que les éléments de l'intersection ne peuvent « pas tout à fait » être considérés comme ayant les deux propriétés en même temps (être canard et être bleu). Bref, dès qu'on les confronte au paradoxe apparent de l'opposition entre le total des deux extensions (considérées séparément) et le total de l'ensemble des objets, la surjection leur paraît problématique, « embêtante ». Par contre la multijection ne leur pose pas de problème puisqu'elle va dans le sens de la dissociation (cet objet peut être mis avec ceux-ci, ou avec ceux-là).

Pour construire l'intersection, il faudra donc que les sujets parviennent à faire fonctionner « concurremment » la multijection et la surjection (ou admettent leur réciprocity). Il faudra aussi qu'ils cessent de considérer la multijection « comme un processus temporel », une application dans l'ensemble de gauche, puis dans l'ensemble de droite, ou vice versa. Et de plus, troisième condition déjà soulignée à la fin de la précédente section, il faudra qu'ils introduisent une quantification autre que celles fournies par les correspondances, qui soit issue des opérations de classes.

d. Etape III (9-10 ans)

Les enfants de ce niveau n'ont plus de peine à considérer qu'il faut compter deux fois les éléments appartenant à l'intersection (d'où un total de onze pour un ensemble de huit objets se subdivisant en deux sous-totalités). En pareils cas, les trois conditions décrites ci-dessus sont satisfaites.

e. Conclusions

Il reste à comprendre le rapport des correspondances avec les opérations de classe. Au point de départ, il va de soi, selon Piaget, que les premières préparent l'élaboration des classes, dans la mesure où la classification des objets concrets « suppose la connaissance de leurs propriétés, en ressemblances et en différences et ces comparaisons préalables consistent en correspondances » (p. 129). Au point d'arrivée, il va aussi de soi que, des classes construites, « on puisse tirer des correspondances par des liens nécessaires, comme l'injection des sous-classes dans les classes » (id.). Mais encore faut-il savoir si les opérations de classes sont tirées par simple abstraction à partir des correspondances, et de l'autre côté si les coordinations entre les surjections et les multijections « ne constituent pas déjà des transformations » (id.).



L'auteur commence par généraliser cette deuxième question en observant que, par exemple, les inclusions sont des injections et que les intersections « en combinant deux à la fois » (p. 130). Puis il note que les compositions entre applications (surjections, etc.) ne sont pas des transformations, dans la mesure où il n'y a pas engendrement de formes nouvelles.

En ce qui concerne la question de la possible origine des transformations dans les correspondances, il faut, nous dit-il, distinguer la forme et le contenu. S'il est vrai que les correspondances fournissent aux opérations de classes les contenus sur lesquels elles agissent, leurs formes ne sauraient être simplement tirées par abstraction à partir des correspondances dans la mesure où les opérations de classe font intervenir de « nouvelles quantifications » (p. 130), dues à l'addition de classes et à son inverse. Citons ici un passage particulièrement clair sur le surplus de formes et de quantifications apporté par les opérations de classification :

[...] on peut, au vu des correspondances une fois établies, y ajouter des problèmes d'extension et les symboliser par des nombres, comme on l'a fait dans la présente recherche, mais c'était précisément pour passer des correspondances à la considération des classes. Or, il reste que la réunion de deux classes en une classe emboîtante $A + A9 = B$ implique nécessairement une opération inverse $B - A9 = A$, tandis que, quand nos sujets de l'étape II proposent une multijection pour la défaire ensuite (« on peut les mettre avec... ou on peut les ôter »), c'est qu'ils ne l'ont pas encore dominée et qu'ils se livrent à des préopérations propres aux collections, que l'on peut constituer ou dissocier à volonté à titre de simples possibilités ; quant aux surjections et multijections de l'étape III, elles sont bien réciproques l'une par rapport à l'autre, mais ne comportent pas d'« inverses » ou négations et ne sont qu'obligées par leurs contenus avant de servir elles-mêmes de contenus aux opérations de classes qui se constituent ainsi à un rang supérieur au leur (pp. 131-132).

Chapitre VIII : Correspondances et relations (avec A. Karmiloff-Smith et J.-P. Bronckart)

a. Le problème

Alors que le chapitre précédent portait sur les rapports entre correspondances et classes, il est maintenant question des rapports entre les premières et les relations. Comme il sera question de relations de ressemblances et de différences dans ce chapitre, Piaget commence par souligner la difficulté de la notion de différence (on peut en particulier entendre cette notion soit sous l'angle d'une propriété de classe, la différence entre x et y , soit comme une relation, x est plus différent de a que de b). Ce qui sera considéré dans la suite est le nombre de différences entre deux objets. Cela précisé, les questions principales seront les mêmes que dans le chapitre précédent.

Les enfants sont interrogés sur trois séries A, B et C, de cinq cartes carrées bordées de rouge pouvant comporter de 1 à 5 petits ronds rouges, les cartes étant, dans la première série, de plus en plus grandes, mais contenant toutes un seul rond rouge, dans la deuxième série, toutes égales, mais comportant un nombre croissant de ronds, enfin,



dans la troisième série, à nouveau de plus en plus grandes, avec contenant, dans l'ordre, 2, 4, 3, 1 et 3 points rouges (donc par exemple 3 pour C3 et C5).

Trois séries de questions sont posées. La première porte sur les cartes qui ressemblent le plus à une certaine carte (le sujet peut être aussi amené à trouver parmi les cartes celles qui ont une, deux ou trois différences par rapport à l'une d'entre elles). Dans la deuxième situation, l'enfant est prié de ranger les quinze cartes dans trois rangées de cartons, et de justifier ce qu'il fait, ainsi que les résultats obtenus. Enfin, il est demandé à l'enfant d'imaginer une carte précédant ou suivant chacune des trois séries A, B et C. Six cartes supplémentaires peuvent en outre être utilisées, qui ont la propriété de pouvoir se substituer à l'une des cartes de chaque série tout en respectant les critères de constitution de celle-ci. L'expérimentateur demande aux enfants s'il est possible de placer les substituts dans l'une ou l'autre des séries.

b. Ressemblances et différences

Lors des trois premières étapes, seules les questions s'en tenant à la recherche de cartes ressemblantes ou différentes sont pertinentes.

Etape I (4 ans environ)

Lors de cette étape, les comparaisons des ressemblances ou des différences restent locales, sans possibilité de dénombrer les différences. Lorsque les sujets considèrent telle différence ou telle ressemblance, ils ne s'occupent pas des autres et il n'y a donc aucune coordination des différences et des ressemblances. Bien plus, alors que, par exemple, un sujet peut dire qu'il ne voit rien de différent entre deux objets, il peut juste après décrire leur différence (la ressemblance est facilement décrite), ou bien un objet peut être jugé différent d'un autre « parce qu'il a la même forme » (p. 137 ; la différence est plus difficilement justifiée). Cette substitution de ressemblances et de différences lors de la description des différences tiendrait, entre autres, au fait que tout objet distinct d'un autre présente forcément des ressemblances avec celui-ci, ou, pour citer quelques lignes illustrant la technicité de l'analyse déployée dans ce chapitre, au fait que si A1 est un complexe de qualités et A2 un autre complexe, « il y a alors injection réciproque quant au sous-complexe des qualités communes et sous-injection réciproque des propriétés différentielles » (p. 138 ; en bref si toute différence est liée à une sousjection, il n'y a pas de sousjections en l'absence d'une injection).

Etape II (5-6 ans environ)

Un sujet de ce niveau peut concevoir qu'un objet soit plus ressemblant ou plus différent d'un autre que ne l'est un troisième (exemple de réponse : B2 ressemble le plus à C1, petit et pour lequel $n = 2$, « parce qu'il y a deux petits ronds », p. 140).

Mais à cette étape, les degrés « de ressemblances et de différences ne sont pas cherchés dans la direction du nombre des emboîtements possibles (ou des successions sériales), mais dans celle de l'importance plus ou moins grande à attacher à tel



contenu [par exemple la grandeur, ou la couleur, etc.] » (p. 141). Quand c'est le nombre de petits ronds qui est jugé important, les sujets considèrent aussi qu'une différence de 1 est moins importante qu'une différence de 2, etc.

Etape III (7-10 ans)

Cette fois, c'est bien le nombre de différences qui est évalué, et non plus un contenu jugé plus ou moins important. Par exemple, pour B3 et C2, un sujet pourra dire qu'il « il y a deux différences, la grandeur et le nombre » (p. 142), ou encore un autre sujet pourra affirmer qu'il y a le même nombre de différences de B3 avec C3 que de C3 avec C5. Que les différences soient ainsi jugées équivalentes du point de vue de leur dénombrement supposerait que le sujet peut construire « autant de sous-classes qu'il y a de différences ou de combinaisons entre elles » (p. 141). Cette capacité de traiter les différences signifierait aussi « l'élaboration d'une correspondance de puissance supérieure, ou correspondance entre correspondances (équivalences entre différences) » (id.).

Enfin, le fait que c'est seulement à partir de 7 ans que les sujets deviennent capables d'apprécier le nombre de différences montre bien le rôle de la construction des opérations de classes et de relations dans les mises en correspondance et les morphismes liés à cette appréciation (mises en correspondances de sous-classes et de leurs différences).

c. Les arrangements libres de l'ensemble des cartes

Les arrangements constatés lors de la première étape sont locaux, sans critère stable et général. Lors de la seconde étape, les enfants peuvent arranger par nombres, puis, pour la deuxième colonne de rangement, par grandeur, mais sans éviter les recouvrements de critères (pour la troisième colonne, ce sera aussi par grandeur). Enfin à l'étape trois l'enfant fait un plein usage de ses capacités opératoires (les critères sont utilisés avec système). Piaget en conclut une nouvelle fois « qu'à ce [troisième] niveau correspondances et opérations sont ainsi étroitement coordonnées » (p. 145).

d. Extensions des séries et substitutions d'éléments

Les résultats obtenus corroborent les précédents. Par exemple, dans la situation lors de laquelle certaines cartes sont substituées à celles appartenant aux trois séries de base, en apportant soit une modification « intensive » par rapport à la carte substituée (par exemple une carte légèrement plus grande, etc.) soit une modification qualitative (par exemple vert substitué à rouge), les enfants de la première étape négligent de tenir compte des critères définissant chaque série (en acceptant par exemple dans une série une carte qui n'a rien à y faire). En une deuxième étape, ils tiennent compte de la relation entre une carte et la série à laquelle elle s'intègre par substitution (par exemple le caractère de grandeur, légèrement différent de la carte remplacée), mais sans tenir compte des autres critères. Enfin lors de la troisième étape, un sujet respectera la propriété permettant de ranger le substitut parmi telle série, sans faire



intervenir des propriétés contradictoires avec les critères caractérisant les éléments de cette série.

e. Conclusions

Piaget commence par noter que les sériations aussi bien que les classifications nécessitent des coordinations entre ressemblances et différences, le progrès de la sériation se marquant par une égalisation des différences (dans le présent chapitre les enfants les plus jeunes croient que la différence +1 n'a pas même valeur différentielle que la différence -1), celui des classifications par une différenciation de plus en plus poussée (des classes en sous-classes). Il examine ensuite la nature des applications (au sens le plus large qui comprend les multijections, les sousjections, etc.) qui interviennent dans les totalités liées aux différences symétriques, et plus particulièrement aux altérités propres aux sous-classes. Puis il considère celles qui interviennent dans le traitement des totalités caractérisées par des différences antisymétriques (dans une sériation où $A < B$, il y a injection de A en B pour la partie de B égale à A et sousjection de B en A, c'est-à-dire « non-correspondance [à A] pour la partie différentielle $B - A = A_9$ », pp. 148-149). Si on considère maintenant la différence entre A et B et entre B et C dans la suite $A < B < C$, il y a équivalence de ces différences, cette équivalence pouvant pourtant comporter des degrés (on peut s'en tenir à un « plus » indifférencié). « Il y a donc à considérer une première forme d'équivalence [entre différences] où seule la qualité ' plus (quelque chose) ' se conserve, sans quantification de cet écart » (p. 149). La seconde forme est celle qui est liée à la maîtrise de la sériation opératoire (la différence $A < B$ est égale à la différence $B < C$, et la différence $A < C$ est égale à la première plus la seconde, etc.). Une troisième forme de différences avec équivalence est celle qui intervient dans les équivalences multiplicatives (les séries exponentielles).

Ces précisions étant apportées, l'auteur revient sur les résultats de ce chapitre en cherchant à distinguer « ce qui relève des correspondances, et ce qui est dû à l'intervention des transformations » (p. 149).

Il note tout d'abord que les groupements des relations, comme ceux des classes, ont toujours affaire à « des formes si proches de leurs contenus que la part des constructions transformantes dues aux activités du sujet semble minime par rapport à ce que fournissent les correspondances quant à l'analyse de ces contenus » (pp. 149-150). A la limite, le sujet pourrait se contenter de découvrir peu à peu, par simple lecture et mises en correspondance, l'ensemble des ressemblances et des différences en jeu. Les opérations de l'étape III ne sont-elles dès lors que le simple rassemblement des résultats de ces mises en correspondance ? Piaget répond bien sûr par la négative en insistant sur les changements qui apparaissent lors de cette dernière étape, et notamment l'apparition des quantifications, ainsi que l'établissement de connexions nécessaires (liée à une récursivité, à une réciprocité et à une transitivité que l'on retrouverait dans cette recherche après leurs mises en évidence dans le cinquième chapitre). En ce qui concerne la quantification, bien mise en lumière ici, « il est clair que l'égalisation des différences antisymétriques $B < C = A < B$, etc., n'est pas donnée par la simple composition des applications d'injections et de successions (= ' de plus en plus grand ', etc.) mais qu'elle suppose une métrique avec composition des unités » (p. 150). Et il en irait de même pour le dénombrement des différences d'altérités (propres aux



sous-classes), qui certes « n'est pas donné dans les correspondances qui établissent celles-ci, mais met en jeu au moins implicitement tout l'appareil des opérations de classification avec leurs inclusions et négations partielles » (id.).

Enfin citons le dernier paragraphe de ce chapitre, qui reprend en la résumant la thèse générale concernant les rapports entre correspondances et transformations opératoires :

En un mot, les correspondances initiales fournissent aux actions transformantes et aux opérations un contenu organisé au moyen de formes transformables mais non transformantes, tandis que la réorganisation endogène du niveau opératoire non seulement intègre ces résultats, mais transforme les applications antérieures en morphismes solidaires d'une structure. Celle-ci n'est donc pas tirée de celles-là, mais les reconstruit sur de nouvelles bases, par une fusion de ce qui jusque-là demeurait incoordonné : les correspondances dégageant les régularités d'un contenu exogène et les actions du sujet s'essayant à construire les structures dont l'achèvement dépend du progrès de la composition de ces actions entre elles, donc du développement opératoire (pp. 150-151).

Chapitre IX : Les correspondances en un système topologique (ouvertures et fermetures d'un labyrinthe) (avec F. Kübli)

a. Introduction

Le problème posé aux enfants est celui de découvrir un chemin permettant à une souris pénétrant dans un labyrinthe de se rendre vers la sortie, puis, un chat guettant celle-ci, de retourner là où elle est entrée, sans qu'elle ne puisse faire un demi-tour sur elle-même (les parois du labyrinthe étant trop rapprochées), ce qui signifie que parvenue à la dernière bifurcation, voyant le chat, elle emprunte le couloir ne menant pas à la sortie. Trois labyrinthes sont utilisés. Les deux premiers sont isomorphes, et simplement construits avec des matériaux différents. Le troisième ne permet pas à la souris de retourner au point de départ, la dernière bifurcation avant la sortie conduisant soit à celle-ci soit à une impasse. A la fin de l'entretien, les enfants sont priés de construire de mémoire un labyrinthe semblable aux deux premiers.

Ce qui est en jeu dans ce problème, c'est une série d'actions dont les relations sont fonction non pas de ce qui a déjà été fait, comme dans une sériation classique où l'ajout d'un élément est fonction des éléments déjà placés, mais du terme ultime (la sortie du système). L'enfant qui trouvera la solution non pas par hasard mais en déduisant (ou en « remontant ») la série d'actions correctes à partir de son terme fera appel à une composition de morphismes (de mises en correspondance de relations) que Piaget qualifie de « précurseur », inversant la démarche réursive usuelle qui part du point de départ pour atteindre le point visé.



b. Les réactions initiales

Les enfants n'anticipent pratiquement pas la suite des actions proposées pour que la souris puisse parvenir vers la sortie. Les tâtonnements se font de proche en proche, et les réussites sont atteintes par hasard. Lorsqu'il y a retour au point de départ (pour la souris qui parviendrait ainsi à sortir du labyrinthe en évitant le chat), les enfants n'ont pas du tout l'idée que la totalité du chemin parcouru forme un trajet cyclique. A un niveau IB pourtant, instruits par de précédents échecs (chemins menant à une impasse), les sujets en arrivent à chaque bifurcation à ne plus choisir au hasard, mais à choisir les chemins pour lesquels il n'y a pas d'impasses proches, ou qui n'ont pas été reconnus inefficaces dans les essais précédents (d'où leur découverte assurée d'un trajet menant à la sortie).

Cependant dès ce niveau on trouve à l'œuvre plusieurs formes élémentaires de correspondance : la multijection (2 ou 3 chemins sont possibles à chaque bifurcation). Puis, pour les enfants de niveau IB, une « injection » du seul chemin ne menant pas à une impasse parmi les continuations possibles immédiates s'offrant lors d'une bifurcation. Piaget note alors à nouveau que, contrairement à une sériation, où le choix d'un successeur dépend de l'ensemble de ses prédécesseurs dans la série, dans le cas des ouvertures successives propres au labyrinthe, « le successeur à choisir est caractérisé par des propriétés indépendantes de celles des prédécesseurs et ne dépendant que d'autres successeurs de plus en plus éloignés » (p. 156). La précurtivité étant absente en cette première étape, les injections auxquelles procèdent les enfants de ce niveau restent de nature empirique, limitée, « à faible intervalle de continuation » (p. 157), d'où l'incapacité des sujets de se représenter la forme d'ensemble du chemin parcouru, le caractère cyclique du trajet lorsqu'il y a retour au point de départ.

c. Etape II (7-8 à 10 ans)

Après quelques tâtonnements, les sujets font preuve d'une démarche précurtive, en ce sens qu'ils s'efforcent de trouver les continuations pour chaque bifurcation en fonction du but final. En une étape IIA, cette démarche permet aux sujets de découvrir successivement la connexité des trajets utiles, la circularité du retour au point de départ, l'impossibilité de réussir dans le cadre du troisième labyrinthe, mais non sans des difficultés à intégrer ces découvertes successives permettant d'éviter des erreurs et des tâtonnements inutiles et de représenter après coup correctement l'ensemble des trajets parcourus. Au niveau IIB par contre, la coordination des différents aspects du système s'accomplit, mais la représentation d'ensemble et l'explication des réussites et des impossibilités sont encore incomplètes, comme le montrent les lacunes dans la construction d'un labyrinthe similaire aux deux premiers.

En ce qui concerne les correspondances, la capacité précurtive dont font preuve les enfants de ce niveau se traduit par la composition des injections successives liées au choix d'un trajet favorable à chaque bifurcation. Si ces injections, comme à l'étape IB, s'accompagnent de sousjections (« non-correspondances par rapport aux impasses », c'est-à-dire le rejet parmi l'ensemble des multijections de toutes celles qui conduisent à une impasse), « ni les unes ni les autres de ces compositions ne consistent encore en transformations, puisqu'il ne s'agit que de relier des états constatables



dont les propriétés sont données et dont la forme trouvée ne consiste qu'à les dégager » (p. 160).

d. Etape III

Les sujets de ce niveau voient clairement les contraintes mathématiques propres au dispositif (exemple : si la souris ne peut ni sauter ni faire marche arrière, alors il faut un deuxième chemin « qui reconduit à l'entrée », p. 160).

e. Conclusions

Dans ses conclusions, Piaget revient sur ce qui distingue la structure de « succession ordonnée d'ouvertures », propre au labyrinthe, de celles propres à la sériation logique et à la classification. Outre que dans les deux cas la précursivité se substitue à la récursivité, on observe aussi bien pour la suite des actions que pour leur classification des rejets absents de la sériation et de la classification. Dans le premier cas, la suite ordonnée des actions valables résulte d'une élimination des chemins non valables. Quant à la différence par rapport à la classification, elle tient dans le fait que, si les trajets non valables en chaque bifurcation s'apparentent en un sens aux sous-classes complémentaires ou secondaires A9, B9, C9, etc., d'une classe A, puis de sa classe emboîtante B, etc., le trajet choisi lors de chaque bifurcation « exclut les trajets secondaires au lieu de s'incorporer à leur réunion » (p. 161), alors que la sous-classe A est incluse dans la classe B qu'elle forme avec sa complémentaire.

Enfin, en ce qui concerne les rapports entre les correspondances et les structures de transformation, les observations recueillies dans cette recherche renforcent la thèse du rôle déterminant que vont jouer les transformations à partir d'une certaine étape. Si en effet, dans le cas de la sériation classique, il y a en un sens continuité entre les premières sériations empiriques et la sériation opératoire finale (les premières généralisations inductives préparant la sériation opératoire), dans le cas présent, « la démarche initiale, qui consiste à aller de l'avant, doit être à un moment donné non pas généralisée, mais renversée en une précursivité pour atteindre le but recherché » (p. 162)⁸⁶. De plus, le rôle des transformations va encore se manifester en incorporant au sein des compositions de correspondances ce caractère de nécessité qui est la marque habituelle de l'intervention des structures opératoires.

Chapitre X : Les embranchements successifs en une structure d'arbre (avec E. Dekkers et S. Parrat-Dayan)

a. Le problème

Le problème posé aux enfants dans cette recherche est le suivant. L'expérimentateur commence à construire au moyen de bâtons un arbre, en partant du tronc et en créant deux embranchements successifs, avec deux branches au départ de chacun lors d'une



première situation, puis trois branches lors d'une deuxième situation. On demande au sujet ce qui va se passer si on poursuit la construction, puis on lui fait reconstruire de mémoire ce qui a été réalisé devant lui. Quatre conditions doivent être respectées pour une réussite complète. Le sujet doit tenir compte : 1. de la connexité, 2. de l'ouverture sur de nouveaux prolongements possibles, 3. d'une succession à chaque extrémité (accroissement du nombre de branches ?), 4. de l'orientation générale. Dans une deuxième situation, il s'agit de chemins de longueur différente, partant tous d'un seul lieu (représentant une école), composés de segments se succédant et aboutissant à un certain nombre d'autres lieux supposés représenter des maisons, le tout formant également une structure d'arbre, mais irrégulière cette fois. Après que l'expérimentateur a construit au moyen de bâtons un arbre devant les maisons les plus rapprochées de l'école, la hauteur de chaque arbre dépendant du nombre de segments reliant l'école à chaque maison, le sujet devra en construire à son tour un pour chacune des maisons plus éloignées en continuant de la même manière (dans un premier temps, on ne donne pas la règle aux sujets). L'examen de cette seconde situation est exposé après la description et l'analyse des réactions des enfants à la première.

b. Etape I (5-6 ans en moyenne)

Le critère de la connexité est le seul qui soit complètement respecté par les enfants. Pour le reste, on observe dans chaque cas des continuations incomplètes, des fermetures, ou encore des orientations rompant l'orientation vers le haut de la construction. Lors d'un niveau IB, les fermetures disparaissent.

Pour les trois critères qui font problème, Piaget observe qu'ils peuvent être chacun localement et isolément respectés. Il en conclut que la vraie difficulté tiendrait « à la composition des correspondances de succession et des multijections du point de vue de leur double direction puisqu'ici toutes deux sont spatiales » (p. 167 ; la croissance de l'arbre est orientée vers le sommet, et les embranchements se subdivisent latéralement). Le problème est de satisfaire simultanément ces deux conditions. La tendance des enfants du niveau IA à fermer les « V » (les embranchements) en quelques points serait la conséquence de leur effort de coordonner, et donc d'envelopper de quelque manière que ce soit ces « V ».

Certains enfants réussissent mieux à reconstruire les arbres de mémoire qu'à prolonger ceux construits par l'expérimentateur. Cela tiendrait au fait que la mémoire peut recourir alors à la seule « correspondance bijective entre l'objet et l'image-souvenir » (p. 168). Le fait qu'ils échouent à prolonger l'arbre construit montrerait dès lors « que le vrai problème demeure de coordonner les embranchements multijectifs et les successions selon leurs deux directions » (p. 168).

c. Etape II

Dès 7-8 ans en moyenne, la coordination ne pose plus de problème. Comme pour les autres recherches, le lien avec les constructions opératoires paraît clair. Là aussi « les correspondances initiales finissent par se constituer en morphismes en se subordonnant à des transformations structurales » (p. 169).



Comment interviennent les transformations ? Avant de répondre à cette question, l'auteur commence par comparer la structure à l'œuvre dans la forme de l'arbre par rapport à celles que l'on observe dans les sériations ou les classifications. Il note que, contrairement à celles-ci où il y a un ordre emboîtant, pour l'arbre le sujet doit coordonner un élargissement en hauteur et en largeur : « [pour l'arbre] il n'est plus question de successions linéaires ou de cercles emboîtés, mais d'une forme déterminée pyramidale ou autre dont la croissance tient de ces deux aspects simultanément » (p. 169). Le point important qui laisse une place aux transformations semble être précisément, selon Piaget, cette croissance simultanée des deux aspects ou des deux fonctions. Le lien de solidarité entre ces deux fonctions constituerait lui aussi encore une fonction. Dès lors, comme en toute fonction il y a non seulement une bijection entre les résultats des variations, mais que celles-ci sont des « transformations », « à plus forte raison en est-il ainsi de la fonction complexe dont il est question ici, et c'est pourquoi la solution du présent problème n'est trouvée avec système qu'au niveau des opérations concrètes » (id.).

d. Les distances sur des chemins distribués en arbres

Les résultats recourent complètement ceux de la première situation, sauf que ce n'est que vers 10-11 ans que les sujets découvrent la règle de construction des arbres. Mais il suffit que l'expérimentateur dans la deuxième partie de l'entretien explique aux enfants que « les arbres placés au début l'ont été en fonction du nombre [segments de] de chemins » entre l'école et chaque maison, pour qu'une fois en possession de ce critère « les sujets réussissent la correspondance sériale dès le niveau des opérations concrètes », soit 7-8 ans en moyenne (p. 173)⁸⁷. Au niveau préopératoire par contre, les enfants ne corrigent pas les correspondances erronées entre les arbres qu'ils ont construits et la longueur des chemins entre l'école et les maisons : un chemin qui arrive plus haut que les autres (par rapport à l'enfant qui regarde le dispositif) est considéré comme plus long ; aussi le sujet représentera-t-il sa distance de l'école par un arbre plus élevé que pour un autre chemin qui est en fait égal ou plus court, car composé d'un nombre égal ou plus petit de segments de même longueur.

e. Conclusions

Dans la seconde situation comme dans la première, ce qui fait problème est que les chemins ne sont pas unidirectionnels, mais composés de segments obliques (dans le cas contraire, « les questions de successions et de correspondances sériales seraient vite résolues par la considération du nombre [des] unités [dont chaque chemin est composé] » (p. 175). Comme dans la première situation, ce qui rend tardives les réponses des enfants est l'introduction des obliques ou diagonales « en tant que comportant une double variation dimensionnelle dans le sens de l'éloignement et latéralement : d'où l'embarras des sujets qui tendent à considérer les éléments placés aux deux bouts d'une oblique suffisamment distincte de la verticale comme situés à la même distance, du point de vue de l'éloignement » (p. 176)⁸⁸. Pour réussir, il faudra que les sujets parviennent à coordonner « deux fonctions dimensionnelles [dont les] variations sont interdépendantes » (p. 177). D'où la conclusion générale tirée de cette recherche sur la compréhension de la structure d'arbre :



[...] dans le cas particulier comme dans le précédent, les correspondances ne se stabilisent en morphismes qu'en se subordonnant à des transformations qui sont les opérations spatiales aboutissant synchroniquement à une métrique et à un système de coordonnées (p. 177).

C'est cette subordination qui entraîne l'intégration finale des obliques au sein des systèmes opératoires alors construits et maîtrisés par les sujets.

Conclusions générales

a. L'évolution des correspondances

Comme l'auteur l'a indiqué dès l'introduction, il n'y a pas véritablement de stades dans cette évolution. A toutes les étapes, ce sont des bijections, des surjections et des injections qui sont retrouvées, simplement plus ou moins complètes et pertinentes. Une évolution n'est pas complètement absente pourtant, aussi l'auteur commence-t-il par résumer ce que les recherches précédentes enseignent à ce sujet.

Comme le chapitre premier l'a mis en évidence, on trouve à la source des correspondances les coordinateurs liés au fonctionnement des schèmes. Mettre en correspondance nécessite des coordinateurs d'enveloppements, de direction, de positions ou de changements de position. Piaget donne ici un nouvel exemple de ce rôle des coordinateurs, celui d'un enfant de 1 an et 10 mois qui cherche à imiter la conduite d'un adulte remplissant un verre au moyen d'une bouteille remplie de sirop. Lors de ses essais successifs, on voit l'enfant se contenter de mettre en voisinage le goulot de la bouteille avec le haut du verre ; puis il change le verre de position pour le placer sur le goulot ; enfin, il le met de nouveau à côté de la bouteille, mais plus bas que le goulot, sans jamais pouvoir le remplir. Il fait donc appel à l'adulte pour que celui-ci remplisse le récipient. L'échec du sujet proviendrait de son incapacité à composer des coordinateurs qui ne font que se succéder en désordre.

Les recherches précédentes montrent ensuite un progrès des correspondances selon six aspects au moins. Le premier est la simple correction de correspondances incomplètes ou erronées (exemple : amélioration du dessin d'un modèle). La seconde dimension est celle de la « détermination de la pertinence » (p. 181). Par exemple, ce n'est pas parce qu'une chaîne est directement accrochée à un objet que la solidité de l'assemblage des chaînes auquel elle appartient hérite de la sienne ; le critère de proximité n'est pas pertinent. Le troisième aspect est la généralisation des correspondances pertinentes. Par exemple, l'extension des plus petits bâtons pouvant passer par un trou fabriqué pour laisser passer un grand s'étend progressivement ; en ce cas il y a « passage des correspondances incomplètes aux ' applications ' en tant qu'exhaustives à gauche » (id.). Le quatrième aspect est le passage des correspondances entre objets aux « prémorphismes entre relations » (id.), ainsi que la progression des prémorphismes (soit le passage de la relation « entre » à la conservation des positions des parties d'un solide, en passant par leur seule conservation au point de départ et

⁸⁶ Notons pourtant que dans la sériation classique une démarche précurseur apparaît aussi lorsque le sujet utilise la stratégie optimale qui consiste à découvrir d'abord la baguette la plus grande, puis la plus grande des restantes, etc.



au point d'arrivée du déplacement du solide). Le cinquième aspect est la prise en compte d'un rapport de réciprocité entre des prémorphismes, s'étendant progressivement des bijections aux injections, puis aux surjections et autres multijections. Enfin, le sixième aspect réside dans la composition progressive des prémorphismes « lorsque deux ou plusieurs d'entre eux s'imposent à la fois pour la solution d'un problème » (p. 182). Le passage d'une composition successive à une composition simultanée se traduira par la capacité d'établir « des relations entre sous-classes à l'intérieur d'une classe » (p. 183).

Cette évolution des correspondances manifeste une nouvelle forme d'équilibration par rapport à celles considérées dans les travaux antérieurs : l'équilibration entre ressemblances et différences. Cette équilibration consiste plus précisément « soit à établir des équivalences entre les différences (comme dans une sériation) soit à subordonner des différences non sériables à des surjections qui dégagent les ressemblances englobantes les plus proches » (p. 183).

Enfin, Piaget annonce qu'une étude explicitement consacrée à l'évolution des compositions de prémorphismes et de morphismes sera ultérieurement publiée (il s'agit de Morphismes et catégories). Il mentionne toutefois déjà ici les trois étapes de la composition des correspondances : « intramorphique » (absence de composition), « intermorphique » et enfin « transmorphique », la troisième étant caractérisée par le rôle alors déterminant des opérations dans la composition des morphismes entre eux.

Mais l'importance croissante des transformations préopératoires et opératoires est également visible dans les résultats des recherches sur les correspondances, ce qui nous conduit à l'examen des rapports entre correspondances et transformations.

b. Evolution des rapports entre correspondances et transformations

Six paliers sont distingués dans l'évolution de ces rapports, avec au début un rôle relativement plus important joué par les correspondances, dans la mesure où les prémorphismes organisant les contenus préparent l'acquisition des premières actions transformantes. Cette primauté initiale des correspondances se retrouve sur le plan de la science mathématique, où les opérations et les structures qu'elles forment ne sont passées que tardivement au premier plan, ou encore sur le plan de la physique, où la causalité n'est atteinte « que sur la base d'une légalité préalable reposant sur des correspondances » (p. 184). Mais, à s'en tenir ici aux résultats des enquêtes psychogénétiques, il apparaît que les paliers sont atteints à des âges très différents, selon la plus ou moins grande difficulté des transformations.

Au premier palier, le sujet « se borne à mettre en correspondance deux collections d'objets (en extension) ou leurs propriétés (en compréhension), mais par simple lecture des états observables sans référence aux transformations dont les états sont les résultats » (p. 185). Si le sujet procède à des transformations, il n'en prend pas conscience et ne les met pas en rapport avec les correspondances.

Au second palier, la généralisation des correspondances à laquelle procède le sujet n'est toujours pas mise en rapport avec la transformation qui les engendre, même si ces correspondances « commencent à en préparer la considération, par les informa-



tions nouvelles qui permettent l'établissement d'un début de loi, laquelle appellera tôt ou tard la recherche de ses raisons » (p. 186).

Le troisième palier se caractérise par des mises en correspondances partielles entre états et transformations (exemple : une rotation de 180 degrés et les effets qu'elle produit sur la position respective de deux points d'un disque).

Lors du quatrième palier, le sujet met en rapport, de manière empirique, divers moments d'une transformation avec les changements qu'elle entraîne (à cette étape, il y a appui mutuel des correspondances et de la transformation, celle-ci pouvant être mieux appréhendée grâce aux correspondances découvertes, mais ces dernières étant inversement de plus en plus activement produites et comprises, grâce à la compréhension croissante de la transformation qui engendre les états).

Au cinquième palier, il y a saisie immédiate de l'ensemble des rapports entre les correspondances et la transformation productrice des morphismes, le sujet étant capable de déduire ceux-ci à partir de celle-là. Piaget donne l'exemple du morphisme du successeur (chaque terme est suivi d'un et d'un seul autre terme), cette correspondance entre chacun des termes d'une série et son successeur découlant de l'opération d'addition de l'unité.

Le sixième et dernier palier est celui sur lequel ce ne sont plus seulement des objets ou des relations entre parties d'un objet ou entre objets qui sont mis en correspondance, mais des structures pouvant se transformer les unes dans les autres et se déduire les unes des autres à partir de la compréhension du tout qui les englobe. A ce niveau, les morphismes et les transformations se libèrent des réalités concrètes qui, aux étapes antérieures, leur fournissaient un nécessaire appui.

Finalement, les correspondances des deux premiers paliers peuvent être caractérisées comme non transformationnelles, celles du troisième comme « prétransformationnelles » (la mise en rapport des correspondances avec les transformations reste très partielle), celles du quatrième palier comme « intertransformationnelles » (dans la mesure où on constate des comparaisons explicites entre les transformations et leurs états), puis au cinquième palier apparaissent les correspondances ou « formes ' cotransformationnelles ' » (résultant d'une transformation opératoire), enfin le sixième palier voit apparaître des « correspondances ' protransformationnelles ' (non considérées en ces recherches) » (p. 188). Ces dernières correspondances « déterminent les transformations en tant que libres selon toutes leurs combinaisons » (p. 188 ; l'étude sur Morphismes et catégories devrait nous en dire plus sur la façon dont des correspondances peuvent déterminer des transformations).

c. Analyse des appuis mutuels entre correspondances et transformations

⁸⁷ On a ici un exemple particulièrement frappant de l'écart qu'il peut y avoir entre l'acquisition d'une structure opératoire (ici le dénombrement opératoire) en rapport avec des problèmes élémentaires ou standards et son application dans une situation comme celle utilisée dans cette expérience. Cette application est suspendue à la compréhension d'une « double variation dimensionnelle » (p. 176).



Commençons par citer longuement l'analyse par Piaget de ces appuis mutuels (préparations des transformations dans les correspondances, puis soumissions des secondes aux premières) :

La double raison de ces préparations indispensables puis de ces soumissions nécessaires est que, si endogènes que soient les transformations, elles ne sont point innées, mais résultent de constructions de plus en plus novatrices consistant à créer des formes qui modifient les contenus, d'abord de façon relativement légère (cf. le passage des assemblages aux collections, les sériations empiriques, etc.), puis toujours plus profondément (récursivités, transitivités et réciprociétés [...], etc.) et cela jusqu'à engendrer de nouveaux contenus (suite des nombres) et à construire de nouvelles opérations sur les précédentes (proportions, ensemble des parties, etc.). Or, ces constructions, tout en engendrant [...] des nouveautés de plus en plus riches et tout en s'appuyant sur les processus endogènes de l'abstraction réfléchissante et des généralisations complétives, ne conduisent des actions transformantes initiales aux opérations supérieures qu'en passant par des phases assez durables (toute la période préopératoire) où les démarches du sujet sont encore loin d'être purement inférentielles et où il a besoin d'un continuuel contrôle de l'expérience et des constatations. En un mot, avant de pouvoir modifier profondément les contenus il faut non seulement les connaître mais aussi vérifier pas à pas les effets non encore déductibles de chaque changement : le jeu des transformations exige donc une conquête des contenus, car, pour pouvoir les modifier, il faut les dominer, c'est-à-dire les connaître tant en leurs états inchangés qu'en leurs variations en cas de changements.

Il est alors évident que les correspondances, sans constituer la source des transformations, qui est l'action productrice et non pas la comparaison (ou activité comparative, transformable mais non pas transformante), jouent cependant un rôle irremplaçable dans la préparation de chaque transformation, en tant que fournissant les informations en dehors desquelles elle n'est ni compréhensible, ni même constatable ou analysable en ses détails. Le propre des correspondances, et ce qui les rend indispensables dans le développement cognitif, est en effet de fournir une connaissance des contenus comme tels, et cela sans les modifier et en se bornant à les enrichir d'un cadre assimilateur constamment accommodé à leurs particularités. Certes les correspondances en viennent à relier une variation à une transformation, donc une transformation à son résultat, et, dès la formation des fonctions $y = f(x)$ il y a non seulement, dès le départ, bijection entre les covariations de y et de x , mais ensuite entre les variations de x et les actions transformantes qui l'ont modifié. Mais en de tels cas [...], la transformation en jeu n'est pas modifiée par sa mise en correspondance avec les résultats : elle devient un contenu par rapport à celles qui l'englobent.

Mais, dans la mesure même ou les transformations, d'abord liées à des actions matérielles ne connaissant leurs résultats que par constatations sur des faits, deviennent opératoires et par conséquent inférentielles, les correspondances changent de statut fonctionnel et si certaines servent encore de préparations,

⁸⁸ On pourrait aussi se demander si les sujets ne sont pas gênés ici par l'usage de deux systèmes de référence qui, dans les faits, n'en forment qu'un.



à l'avant-garde des constructions, les autres se subordonnent aux mécanismes transformateurs dont elles reçoivent leur justification et en certains cas leur existence même (comme la bijection des opérations directes et inverses et, de façon plus générale, des affirmations et des négations complémentaires). C'est alors qu'aux prémorphismes succèdent ainsi les morphismes authentiques conservant les structures.

L'auteur rappelle ici les résultats convergents de chacune des recherches, qui montrent tous comment les correspondances se subordonnent finalement aux transformations.

Dans les derniers paragraphes de sa conclusion, Piaget relie l'évolution des rapports entre correspondances et transformations à l'évolution cognitive générale constatée dans les recherches sur les mécanismes de construction des connaissances (études sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation, etc.). Dans toutes ces recherches ce qui est observé est un passage progressif des connaissances exogènes aux connaissances endogènes, de l'empirique à l'opérateur, etc., et c'est le même mouvement que l'on constate dans le renversement du rapport entre les correspondances et les transformations, les premières finissant par se soumettre aux secondes après les avoir « préparées ».

En un mot, la subordination progressive des connaissances exogènes aux mécanismes endogènes de reconstruction et de construction constitue un processus d'ensemble résultant des régulations et autorégulations propres au développement cognitif, autrement dit des nécessités internes de l'équilibration (pp. 192-193).

Cette dernière remarque permet alors à l'auteur d'annoncer dans les termes suivants l'ouvrage sur Morphismes et catégories :

[...] la coordination graduelle des correspondances et des transformations, dont cet ouvrage a fourni des exemples élémentaires, représente une forme particulière d'équilibration majorante à ajouter aux précédentes et intimement liée à celles qui nous étaient déjà connues. Nous n'avons examiné jusqu'ici que les phases de formation de cet équilibre entre les processus comparatifs et constructifs, mais il nous reste, en un prochain ouvrage, à examiner ce qu'il devient aux niveaux plus complexes des morphismes intra et interstructureaux : c'est alors qu'il faudra discuter tout le problème épistémologique des rapports entre les structures et les catégories, puisque celles-ci affinent et multiplient les instruments de comparaisons et donnent lieu, de ce fait même, à d'autres formes de thématization que celles dont peuvent se contenter les structures (p. 193).











7. Morphismes et catégories

Comme on vient de le voir, cet ouvrage fait suite à celui sur les correspondances⁸⁹. Sa plus grande partie est composée de quatorze chapitres rédigés par Piaget (une introduction et une conclusion générales, ainsi que douze chapitres exposant chacun les résultats d'une recherche psychogénétique). Il contient en outre une préface de Seymour Papert dans laquelle celui-ci s'interroge sur la raison des recherches tout à fait nouvelles sur les correspondances et les morphismes, et sur leur place dans l'ensemble de l'œuvre. Deux chapitres théoriques, l'un de Gil Henriques, l'autre d'Edgar Ascher, complètent les analyses de Piaget par des affinements logiques et l'examen de ces nouveaux objets de la mathématique moderne que sont les morphismes et les catégories.

Sans prétendre à une véritable précision mathématique, essayons de donner, au départ de ce résumé, une caractérisation approximative des deux notions clé de cet ouvrage, extraite de la lecture même de celui-ci et non pas des définitions techniques de la mathématique⁹⁰. On a déjà vu dans *Recherches sur les correspondances* ce qu'il convient d'entendre par morphisme : une correspondance établie non pas entre des objets sans considération précise de leurs relations internes, mais entre les relations internes (ou la forme ou structure) de chacun des différents objets mis en correspondance. Les objets et leurs relations internes ainsi mis en correspondance peuvent naturellement être de différents niveaux d'abstraction. Quant à la catégorie, on pourrait la caractériser, du moins en première approximation, comme étant l'instrument par lequel des objets avec leur structure, voire des catégories, sont transformés ou engendrés par composition les uns avec les autres et les uns à partir des autres. En plus de l'intérêt qu'elle offre comme nouveau champ d'étude pour la psychologie et l'épistémologie génétiques, la théorie mathématique des catégories pourrait ainsi fournir de puissants outils de modélisation des activités de constructions des formes opératoires, au moins à partir d'un certain niveau de la psychogenèse. On voit donc en quoi la recherche *Morphismes et catégories* peut simultanément être vue comme un développement nouveau de l'étude psychogénétique « classique » des notions et des structures, mais aussi comme un prolongement des recherches sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation.

Rendant complètement manifeste ce qui s'annonce dans les *Recherches sur les correspondances*, l'étude sur les morphismes et les catégories ajoute un chapitre tout à fait original et inattendu, d'un point de vue apriori, à l'édification de la théorie

⁸⁹ Publié après la mort de Piaget, *Morphismes et catégories* contient des passages qui souffrent d'un manque de clarté manifeste et qui fragilisent la reconstruction de la pensée de l'auteur. S'ils peuvent rendre difficile la lecture, ces défauts ne doivent pourtant pas empêcher de prendre acte de l'originalité des thèses exposées et de l'enrichissement qu'elles apportent aux conceptions développées antérieurement.

⁹⁰ Voir le glossaire général, à la fin de cet ouvrage, pour les définitions des deux notions mathématiques de morphisme et de catégorie.



constructiviste de la connaissance. En mettant en évidence, à côté des anciennes transformations opératoires inhérentes aux différents domaines de la pensée logico-mathématique et physique, l'existence de « transformations morphismiques », cette étude fait apparaître la psychologie et l'épistémologie génétiques non plus seulement comme centrées essentiellement sur les actions, les opérations et leurs structures sous-jacentes, mais comme une théorie générale des formes et de leurs transformations. Si cette étude révèle l'exceptionnelle capacité manifestée par Piaget de dépasser, en les intégrant, ses anciennes théories, il apparaît après coup que ce dépassement est en quelque sorte inscrit dans l'une des deux ou trois questions de fond qu'il s'est posée au départ de son œuvre : l'élaboration d'une théorie générale des formes biologiques et intellectuelles (une deuxième interrogation liée à la précédente est celle de l'origine et de la nature de la raison).

Enfin, ajoutons encore une remarque avant de résumer *Morphismes et catégories*. Cet ouvrage recourt à un cadre d'interprétation des conduites inspiré du chapitre le plus abstrait des mathématiques contemporaines (l'étude des morphismes au moyen de ces nouveaux instruments et objets mathématiques que sont les catégories). S'il est vrai que, comme le soutient l'épistémologie constructiviste des mathématiques, la construction de nouveaux êtres mathématiques s'inscrit dans une démarche régressive retrouvant, en les thématissant, les formes les plus fondamentales du fonctionnement intellectuel et même vital, non seulement on ne saurait, après coup, être trop surpris de ce nouvel étage ajouté par Piaget à la psychologie et à l'épistémologie génétiques, mais on admettra peut-être aussi que l'effort d'abstraction qui est ici exigé de nous soit la condition d'une compréhension toujours plus approfondie du fonctionnement et des formes de l'action et de la pensée humaines (et par-delà, des comportements des organismes vivants).

Préface (de Seymour Papert)

Entre autres choses, Papert suggère que l'usage de la théorie mathématique chez Piaget peut être interprété de deux façons. L'une, malveillante, selon laquelle l'auteur utiliserait les dernières théories à la mode en mathématiques pour conduire ses recherches et modéliser les comportements des enfants ; l'autre, bienveillante et s'inscrivant parfaitement dans la conception constructiviste : les étapes de découverte du psychologue seraient similaires à celles du mathématicien découvrant progressivement la nature profonde de la réalité mathématique qu'il construit par ailleurs. Au rapport entre les découvertes des structures mathématiques par les mathématiciens bourbakistes et les structures opératoires par le psychologue généticien succéderait de manière la plus naturelle le rapport entre la découverte des catégories par le mathématicien contemporain et la découverte des formes de l'abstraction réfléchie par le psychologue⁹¹.



Introduction

Piaget reprend en un certain sens dans cet ouvrage la question des rapports entre correspondances et transformations, mais en visant plus particulièrement comme premier terme de ce rapport les morphismes⁹². Il rappelle que l'activité de comparaison, et donc les correspondances qui en sont le résultat, ne modifient pas leurs contenus, même lorsque ce sont des transformations qui sont ainsi mises en rapport. Mais cela n'empêche pas les correspondances de se transformer et de s'enrichir lors de la psychogenèse aussi bien que lors de la genèse de la science mathématique.

Trois problèmes se posent alors. Le premier est celui des rapports entre les morphismes et leurs contenus, et il est d'autant plus intéressant lorsque les contenus sont des transformations. Quel est le lien entre les transformations comparées et les morphismes qui sont les instruments de cette comparaison ? La deuxième question générale qui est au cœur du présent ouvrage est celle du développement des formes elles-mêmes, en d'autres termes la transformation des morphismes ou encore les « transformations morphismiques » (p. 16), et non plus le développement des opérations transformantes, comme c'était le cas dans les travaux de « psychologie génétique classique ». L'auteur présente dès le départ une thèse très forte concernant les transformations morphismiques : l'apparition de nouveaux morphismes serait « essentiellement sinon exclusivement » le résultat de compositions de correspondances (id.). Enfin le troisième problème est à l'intersection des deux précédents : quelle est la nature des rapports entre les transformations opératoires d'un côté et les transformations morphismiques de l'autre (dans la précédente étude ce qui était en jeu était seulement les rapports entre les premières et les correspondances ou les morphismes) ? En bref, les transformations morphismiques résultent-elles des transformations opératoires (ou l'inverse, à supposer que les secondes soient le reflet dans l'action des instruments comparatifs créés par composition de morphismes), ou sont-elles autonomes par rapport à celles-ci, ou encore y a-t-il « réciprocity de service entre les deux sortes de transformations » (p. 18) ? Voilà le genre de questions dont il est fondamentalement question dans ce nouvel ouvrage sur les correspondances⁹³.

⁹¹ L'interprétation de Papert diffère légèrement du résumé que nous en donnons, dans la mesure où elle ne fait pas état des recherches sur l'abstraction réfléchissante, dont les résultats justifient pourtant probablement en partie l'intérêt porté par Piaget aux morphismes et aux catégories. Papert se limite à suggérer que l'utilisation des catégories permettrait de mieux comprendre l'émergence du stade formel. Cette interprétation et la version qui en est donnée ici sont pourtant liées, du moins s'il est vrai que l'abstraction réfléchie intervient de manière plus particulièrement manifeste dans le passage de la pensée concrète à la pensée formelle.

⁹² Il est intéressant de constater que Piaget désigne « comparer et transformer » comme « les deux fonctions principales de la raison en ses créations » (p. 15). Ceci démontre qu'il ne rejette pas plus la raison comme objet central de ses préoccupations dans cette dernière étape de ses recherches qu'il ne l'a fait dans les décennies précédentes. Notons aussi que comparer et organiser opératoirement le réel sont les deux activités auxquelles l'auteur a consacré une bonne part de sa vie scientifique (en classant les mollusques tout d'abord, puis les comportements intellectuels).



Les recherches psychogénétiques mises en place pour étudier ces questions vont porter sur la genèse des « compositions de correspondances ou morphismes liés à des structures opératoires » (p. 18) dans des domaines tels que l'espace, les relations de parenté, la causalité, etc. Piaget résume d'emblée les trois étapes de « transformations morphismiques » mises en évidence dans toutes ces recherches : 1. l'étape « intramorphique » (absence de composition) ne dépassant pas les « comparaisons empiriques » portant sur des transformations ou des états ; 2. l'étape « intermorphique » marquée par les premières compositions de morphismes, ou correspondance de correspondances, qui lorsqu'elles portent sur des « situations intertransformationnelles [...] favorisent la compréhension des transformations dont elles commencent à pouvoir être déduites en retour » (pp. 18-19); enfin 3. l'étape « transmorphique » lors de laquelle le sujet commencerait à « opérer sur les morphismes » (p. 19). Citons au sujet de cette dernière étape ces quelques lignes qui illustrent bien le genre de rapports entrevus par leur auteur entre les transformations opératoires et morphismiques et qui nous donnent une première définition implicite de la notion de catégorie utilisée dans cette étude :

Pour prendre un exemple, la structure d'un « groupe » est faite de « transformations opératoires » qui, comme telles, demeurent en elles-mêmes « extramorphiques ». Or un ensemble de morphismes peut leur être associé sans transformer en rien cette structure, mais ils se comportent entre eux de façon constructive et sont par conséquent transformables jusqu'à engendrer la « catégorie » de ce groupe : celle-ci a donc pour contenus morphismiques les morphismes qu'elle coordonne, mais avec à la base le contenu extramorphique qui est la structure opératoire d'un groupe (p. 19).

Enfin, en ce qui concerne ces rapports entre transformations opératoires et morphismiques, les recherches montreraient « une convergence progressive, n'excluant pas l'autonomie respective de ces deux vastes constructions dont l'une vise les comparaisons ou transférences comparatives et l'autre les transformations et créations d'objets ou contenus, mais aboutissant à l'élaboration de formes générales (monoïdes, groupes, anneaux, treillis, etc.) qui sont celles de toutes les transformations logico-mathématiques parvenues à un degré suffisant d'abstraction réfléchissante » (p. 19).

⁹³ La réponse à cette dernière question a des implications importantes non seulement pour l'épistémologie, mais aussi pour la psychopédagogie. Sont-ce des activités de comparaisons qui sont primordiales, ou au contraire des activités transformatrices des objets, ou un mélange des deux ? Une épistémologie et une pédagogie platoniciennes auraient peut-être tendance à privilégier la réponse comparative.



Chapitre I : Rotations et circumductions (avec C. Monnier et J. Vauclair)

a. Introduction

L'enfant est interrogé au sujet de deux situations de rotations ou de circumductions d'objets, puis il lui sera demandé de comparer les deux situations. Dans celles-ci, on a affaire soit à une boîte soit à une planchette dans ou sur laquelle se trouve un objet (un ours en peluche dans la première, le dessin d'un bonhomme dans la seconde) dont le sujet peut constater l'orientation initiale, puis qui est caché. Dans la première situation, l'enfant imprime un mouvement de déplacement à la boîte, soit en la déplaçant, au moyen d'une longue tige fixée au couvercle, le long d'un grand cercle tracé sur une feuille (le mouvement produit par glissement sans rotation est une circumduction), soit en faisant subir à la boîte une rotation au moyen d'une tige fixée au centre du cercle (ce qui induit une rotation orbitale)⁹⁴. Dans la seconde situation, c'est l'expérimentateur qui meut, là aussi soit par circumduction soit par rotation orbitale, la planchette placée sur un plan vertical et non pas horizontal. D'autres problèmes complémentaires sont également posés aux enfants, comme de savoir ce qui se passe lorsque la boîte est déplacée non pas le long d'un cercle, mais le long de quatre segments circulaires formant une forme concave : \curvearrowright .

b. Les correspondances élémentaires ou « intramorphiques »

Lors de cette première étape (l'âge des enfants mentionnés s'étale entre 3 et presque 6 ans), la description des changements d'orientation de l'objet caché ne pose plus de problèmes pour des sujets qui, dès la fin du développement de l'intelligence sensori-motrice, savent imprimer un mouvement de rotation à un objet pour en changer l'orientation. Par contre, les mouvements par circumductions ou rotations orbitales peuvent donner lieu à des erreurs quant à leur effet sur les changements d'orientation. La description des situations étant peu claire, il est difficile de suivre dans le détail l'analyse des erreurs proposée par Piaget. La seule chose que nous retiendrons est que les constatations empiriques ou les prévisions quant aux changements d'orientation se font au coup par coup, sans compositions entre elles.

c. Les correspondances intermorphiques (I)

A partir de 6 ans H environ, « les sujets commencent par considérer la rotation orbitale comme déterminant une succession cyclique de positions dont chacune correspond au trajet effectué jusqu'à elle à partir d'un état de départ donné » (p. 25). La compréhension de l'opération de rotation permet ainsi au sujet d'établir des correspondances stables et complètes entre les orientations et les positions successives de l'objet. De même les sujets comprennent que la circumduction qui laisse droite la baguette au

⁹⁴ La description des deux situations est quelque peu imprécise.



moyen de laquelle la boîte est déplacée, c'est-à-dire qui ne change pas son orientation, ne modifie pas l'orientation de l'objet caché à l'intérieur de la boîte.

L'ours, dont l'orientation change en fonction des étapes de la rotation orbitale, offre l'exemple d'un « morphisme de successions cotransformationnel par rapport à la rotation, mais qui est déjà le résultat d'une composition, puisque chaque relation de successeur (de 0 à 90°, de là à 180°, etc.) tout en étant répétable et constituant donc une correspondance stable, est différente de la précédente et déterminée par elle » (p. 27 ; rappelons qu'un morphisme « cotransformationnel » dépend d'une transformation productrice des correspondances qu'il met en relation).

Selon Piaget, d'autres compositions interviennent par ailleurs dans les réponses des enfants, comme « la capacité d'obtenir un même résultat au moyen de coordinations différentes » (p. 27 ; l'auteur donne l'exemple d'une circumduction qui, liée à une rotation sur place, équivaut à une rotation orbitale).

d. Les correspondances intermorphiques (suite) et les débuts du transmorphisme

Les correspondances intermorphiques I ont pour particularité de pouvoir être aussi bien établies par lectures successives coordonnées les unes aux autres que par déduction à partir de la compréhension des opérations en jeu. Leur construction se poursuit naturellement après 6 ans (d'où l'absence de stades), en même temps qu'apparaissent les premières correspondances transmorphiques, les sujets en arrivant à maîtriser des compositions intermorphiques plus complexes que ce n'était le cas précédemment (comme la situation où l'ours est déplacé non pas le long d'un cercle, mais le long de quatre segments circulaires : \curvearrowright).

Quant au transmorphisme, il se manifesterait dans cette recherche par la capacité qu'ont les sujets de ce troisième niveau (11-12 ans environ) de déduire que l'ours regarde toujours un même point, dans le cas de la rotation (le point est alors le centre du cercle), aussi bien que dans celui de la circumduction (le point regardé est alors extérieur au cercle), ce qui suppose la composition de deux systèmes de référence, l'un interne et l'autre externe par rapport à l'objet déplacé. Caractéristique du transmorphisme, cette « composition de morphismes par le moyen d'une déduction opératoire fondée sur un système d'ensemble » (p. 30) se manifesterait plus clairement lors d'une recherche sur la rotation du cube exposée dans le troisième chapitre.



Chapitre II : La composition de deux successions cycliques (avec D. Voelin-Liambey et I. Berthoud-Papandropoulou)

a. Introduction

Les types de problèmes posés aux enfants sont simples. La situation est composée de deux disques fixés l'un sur l'autre, de grandeur égale et pouvant tourner autour de leur centre. Chacun d'eux est divisé en quarts. Sur les quatre quarts du disque inférieur sont dessinés : un triangle, une étoile, un carré et une croix, désignés ci-dessous par 1, 2, 3, et 4. Le disque supérieur comporte quatre zones transparentes, chacune de couleur différente (rouge, bleue, jaune ou verte) et désignées par a, b, c et d. Un troisième disque de même grandeur peut couvrir les deux précédents, en ne laissant apparaître qu'un quart de leur surface. Dans un type de problèmes, il s'agit pour l'enfant de deviner ce qui vient se cacher sous tel ou tel des quarts du cache lorsque, étant donné telle situation de départ, on fait subir des rotations de $1/4$, de $2/4$ ou autres à l'un des deux disques partiellement cachés (l'enfant a à sa disposition tout au long de l'entretien un modèle de chacun des deux premiers disques, modèle qu'il a lui-même construit au moyen de quatre formes découpées et de quatre cartons colorés, qui peut l'aider à résoudre les problèmes qui lui sont posés et qu'il peut modifier à son gré). Dans un second type, une rotation équivalente ou non est imprimée aux deux disques inférieurs. Enfin, dans un troisième et quatrième types, c'est l'enfant qui, voyant telle forme et telle couleur apparaître à travers la fenêtre du cache, doit procéder à une ou des rotations (sur un disque ou sur les deux) pour amener telle autre forme et telle autre couleur sous telle ou telle des trois autres portions du cache. Dans une dernière situation, on demande à l'enfant d'amener telle forme et telle couleur, et simultanément telle autre forme et telle autre couleur à deux places du disque caché. Cette dernière situation sert à tester la compréhension des cas impossibles.

Cette expérience fait intervenir de nombreux morphismes, tels que la correspondance bijective entre formes et couleurs, les morphismes de succession (des couleurs et des formes sur chacun des disques), les correspondances entre les disques et leur modèle construit par les sujets, etc.

b. Correspondances intramorphiques

Piaget rappelle que ces correspondances sont celles qui sont « imposées au moyen de lectures ou d'anticipations directes fondées sur celles-ci » (p. 36). L'absence ou tout au moins la difficulté de composition entre ces correspondances est caractéristique des enfants les plus jeunes, soit, pour cette expérience, d'enfants de 7 ans environ.

Une première illustration est fournie par l'usage statique que ceux-ci font du modèle. Celui-ci une fois construit est considéré comme une simple copie figurative et ils n'ont pas l'idée de déplacer ses éléments pour répondre aux problèmes de rotation des disques, ou s'ils le font, c'est sans tenir compte des contraintes propres aux rotations (les sujets de 11-12 ans maîtrisant les correspondances transmorphiques n'auront eux plus besoin de recourir au modèle dans la mesure où ils procéderont par inférences).



Une deuxième illustration réside dans les nombreuses lacunes de composition des surjections faisant correspondre à chaque forme quatre couleurs possibles (ou pour chaque couleur, quatre formes possibles). Le sujet parvient bien à procéder à une rotation mettant telle forme en correspondance avec telle couleur. Mais il ne réalise pas les compositions qui lui permettraient de découvrir les seize objets globaux différents (ce que feront les enfants de 8-9 ans).

Une troisième illustration est fournie avec le déplacement d'un objet composite (le triangle jaune par exemple) d'abord visible à travers la fenêtre du cache, puis devenant alors invisible, cédant ainsi sa place à un autre objet composite. Les sujets peuvent certes décrire la suite des formes ou des couleurs, la correspondance ayant alors été établie par lecture empirique et pouvant encore être constatée sur le modèle. Mais il suffit de faire subir une rotation à l'un des disques, par exemple de rendre visible l'étoile et invisible le triangle, pour que des erreurs apparaissent sur la forme du successeur. En un mot, « si ces correspondances de succession immédiates vont de soi tant qu'elles ne sont pas à composer entre elles sinon par simple enchaînement linéaire, elles donnent encore lieu à ce niveau intramorphique à des difficultés lorsqu'il s'agit de coordonner une suite donnée avec une autre à inférer » (p. 38)⁹⁵.

Cette erreur que le sujet peut commettre sur la nature du successeur immédiat lorsqu'une rotation est appliquée à l'un des disques (ou aux deux) conduit à souligner l'incapacité plus générale qu'ont les enfants de ce premier niveau de concevoir l'invariance des successions à travers la rotation, quel que soit le sens de celle-ci.

Que la correspondance entre une nouvelle position d'un élément et le déplacement orienté qui le change de place fasse problème, c'est ce que montre la difficulté des enfants de prévoir où ira, par exemple, l'objet 3, qui précédait l'objet 4, lorsqu'on amène ce dernier à la place qu'occupait l'objet 1. Le sujet peut répondre qu'il devrait être entre les positions I et II, ou à la position III, alors qu'il a bien évidemment pris la place de l'objet 4 (en IV). Lorsqu'on interroge le sujet sur les objets venant occuper les trois positions cachées après qu'on a fait apparaître un nouvel objet dans la position visible, les seules réponses correctes qu'il peut donner sont celles qui concernent les objets occupant une place symétrique par rapport au diamètre (par exemple : 4c en face de 2a, une fois que celui-ci a été amené en I). Le sujet utilise alors des correspondances par symétrie, et non pas des compositions entre morphismes de succession pour aboutir aux bonnes réponses.

L'incapacité des sujets de ce premier niveau à maîtriser les compositions de morphismes se retrouve enfin dans la situation où il est demandé au sujet d'agir sur les disques pour que deux objets composites viennent occuper deux positions données (par exemple 1b en II et 2c en III). Puisqu'une seule action de déplacement intervient, il apparaît évident que les variations ou les écarts de position imposés aux deux disques (ou à un seul) pour changer de place le premier objet valent pour le second. Lorsque ces écarts sont respectés par la consigne, les sujets n'ont pas de difficultés à résoudre empiriquement le problème (en résolvant un premier critère, ils remplissent de facto le second). Mais lorsque la consigne porte sur des déplacements de deux

⁹⁵ Il serait intéressant de comparer l'analyse, faite dans cette expérience, des comportements et des réponses des enfants à ce qui est en partie un problème de combinatoire, avec celles que l'on trouve dans les anciennes recherches d'Inhelder et Piaget sur le développement de la pensée combinatoire chez l'enfant et l'adolescent. Ceci permettrait d'illustrer le caractère novateur des nouvelles recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories : la place accordée aux multiples formes de mises en relation des contenus de l'expérience dans les réponses du sujet.



objets impossibles à réaliser simultanément, les sujets de ce niveau ne parviennent pas à saisir cette impossibilité. Ayant rempli la moitié de la demande, par exemple, ayant déplacé les disques de manière à placer 2b en II, un sujet croit que le but fixé est alors atteint, c'est-à-dire que 1d se trouve en III ; lorsqu'on lui fait constater que si la première moitié de la consigne est satisfaite, la seconde ne l'est pas, il essaie à nouveau de bouger les disques pour atteindre ce but impossible.

Piaget termine cette section en remarquant qu'il n'y a pas une absence complète de composition des correspondances à ce « niveau », mais plutôt une « gradation dans la complexité des compositions et la possibilité, pour chaque sujet, de réactions multiples selon les questions à résoudre » (p. 41). Ce qui signifie que « les niveaux intra-, inter- et transmorphiques sont [...] des niveaux de construction dans les compositions de correspondances et non pas (ou seulement partiellement) des niveaux de sujets » (id.). On peut ajouter que si niveaux des sujets il y a, ils résulteraient vraisemblablement pour une large part des stades de développement des opérations.

c. Les correspondances intermorphiques

Les sujets de ce « niveau » (8-9 ans environ) parviennent à composer aussi bien les successions que les écarts de position résultant des rotations appliquées aux disques. Si l'expérimentateur a fait venir la couleur verte (d) à la place de la rouge (a), un sujet parviendra rapidement à affirmer que la couleur (a) s'est déplacée de I en II, (b) de II en III, etc. Pour les couples d'objets à déplacer, le même sujet parviendra à découvrir l'impossibilité d'une certaine configuration, mais sans pouvoir expliquer cette impossibilité. A ce niveau, « tous les problèmes finissent par être résolus par composition des successions, directions et écarts, ce qui aboutit à la constitution d'un enchaînement total invariant dans les deux cas des formes et des couleurs [...] Mais cet enchaînement n'est découvert et manipulé que pas à pas, par déplacement des éléments d'une position à la suivante » (p. 43). Il n'y a pas encore de maîtrise simultanée de l'ensemble des rotations réalisables, d'où les chemins parfois inutilement longs que les sujets parcourent dans l'une ou l'autre des situations pour aboutir à des solutions correctes. En d'autres termes : « ces correspondances intermorphiques permettent la formation de liaisons invariantes [le carré toujours derrière l'étoile, etc.], mais elles n'atteignent pas l'organisation d'ensemble en tant que structure opératoire avec libres manipulations et que catégorie élémentaire avec tous ses morphismes simultanés » (p. 43). Seule la prise en compte des rotations et les inférences qui s'y attachent permettront au sujet d'atteindre ces compositions intermorphiques, ces mises en correspondance de correspondances élémentaires que sont les successions entre éléments des deux séries.

d. Les correspondances transmorphiques

Les problèmes sont d'emblée envisagés du point de vue du système total, ce qui permet au sujet d'inférer l'ensemble des conséquences d'une modification, quelle qu'elle soit. A supposer par exemple qu'il soit demandé au sujet ce qui se passe lorsqu'une action sur les disques amène 1d en I, il en déduit immédiatement qu'on aura, par exemple, 3b en III parce que « le vert (d) était là (I), c'est deux après et comme le carré était là (3 en



III) c'est deux après (I) » (p. 44). Il sait reconnaître, inventer et justifier sans difficulté des problèmes impossibles dans lesquels deux objets devraient simultanément être placés en deux positions (par exemple le (1) en II et le (4) en IV). Enfin il sait aussi engendrer d'emblée et méthodiquement les seize combinaisons de couleurs et de formes.

Lorsqu'un sujet affirme qu'un certain objet est venu occuper une place deux rangs plus loin, il considère que ce déplacement est valable, et même nécessairement le même, pour l'ensemble des autres objets de la série. Il sait aussi d'emblée qu'une rotation d'un quart de cercle dans un sens équivaut à une rotation de trois quarts de cercle dans l'autre sens. Les modifications des correspondances particulières (le triangle qui vient occuper telle place par exemple) sont la conséquence de la modification apportée au système dans son ensemble. Les correspondances atteintes à ce niveau peuvent ainsi être dites transmorphiques.

En plus du fait que le sujet raisonne en partant des modifications apportées au système dans son ensemble, et en plus de la nécessité qui découle de la considération simultanée de l'ensemble des correspondances possibles, une troisième caractéristique des correspondances transmorphiques est « la ' liberté ' des transformations et des correspondances cotransformationnelles, opposées au statut encore ' lié ' des démarches intermorphiques » (p. 45), cette liberté étant définie par les caractères quelconques du point de départ et univoque du point d'arrivée. Enfin, la dernière caractéristique importante est cette capacité que le sujet a de relier les modifications les unes par rapport aux autres (par exemple l'équivalence conçue entre les modifications de positions obtenues par une rotation dans un sens ou dans l'autre). Ces équivalences entre morphismes découlant pour le sujet de la considération simultanée de l'ensemble du système (c'est-à-dire des rapports entre correspondances de correspondances), cette liberté de choisir n'importe quel point de départ, les relations obligées entre les correspondances en jeu, tout cela permettrait de caractériser le système d'ensemble considéré par le sujet comme une « catégorie élémentaire ».

Piaget termine ce chapitre en observant que ce qui sépare les correspondances transmorphiques des correspondances intermorphiques est la sorte de « calcul logique » intervenant dans la composition des correspondances transmorphiques en lieu et place des compositions progressives propres aux secondes. Les instruments de ce calcul ne seraient autres que « le produit généralisé des transformations servant de contenu au niveau intermorphique » (p. 46). « Autrement dit, le sujet opère sur les morphismes et les relie en un tout au moyen du système opératoire d'ensemble qu'il a construit avec l'aide des précédents » (p. 46). Il semble que, lors du second niveau, les transformations opératoires entreraient à titre de contenus au côté des états lors des correspondances variées que le sujet établit entre les éléments de son expérience. Ce faisant, ces correspondances portant en partie sur des transformations aideraient le sujet à construire le système des opérations formelles. Une fois atteint, celui-ci permettrait en retour au sujet de calculer l'ensemble des morphismes et des correspondances entre morphismes propres à la situation considérée (ici l'ensemble de tous les morphismes et de toutes les correspondances entre morphismes intervenant dans les situations de deux disques superposés et comportant les caractéristiques énoncées au départ de ce chapitre).



Chapitre III : La rotation du cube (avec A. Moreau)

a. Introduction

Le problème que le sujet va devoir résoudre dans ce chapitre est celui des « lois de rotation d'un cube ». Plusieurs situations lui sont présentées dont la suivante sur laquelle se concentre principalement l'analyse. Un cube est posé sur la table devant l'enfant. Toutes ses faces sont blanches, sauf celle placée devant le sujet et sur laquelle est dessinée une croix. L'expérimentateur demande ce qui va se passer lorsqu'on fera subir au cube une rotation en avant, en arrière, à gauche ou à droite, de 1/4 de tour, de 2/4 ou autre, ou encore si l'on fait subir une première rotation (par exemple en avant) suivie d'une seconde (par exemple à gauche). Dans le cas où deux rotations successives sont appliquées au cube, l'expérimentateur peut aussi demander à l'enfant ce qui se passerait si l'on commutait leur ordre (rotation à gauche, puis rotation en avant pour l'exemple précédent). D'autres questions sont encore considérées, dont le nombre de positions différentes que peut occuper le cube.

b. Les correspondances intramorphiques

Dans cette expérience, les correspondances intramorphiques, constatées avant tout chez les enfants de 5-6 ans, sont caractérisées tout d'abord par des « bijections généralisées et abusives » (p. 49) entre des transformations matérielles grossièrement considérées ou entre des états paraissant se ressembler (par états il faut entendre ici des configurations perceptives avec leurs indices, et non pas les positions du cube ; celles-ci n'interviendront qu'avec la considération d'un référentiel extérieur). Par exemple le sujet peut considérer comme « la même chose » l'état où la croix se trouve à gauche du sujet, et celui où elle se trouve à une autre place, car dans les deux cas « il y a la croix » ; ou encore une « rotation » à gauche et une « rotation » à droite sont considérées comme « la même chose », car consistant toutes deux à bouger le cube (ces transformations matérielles ne sont pas encore conçues comme des rotations par le sujet).

Les correspondances intramorphiques sont de plus caractérisées par la nature lacunaire et souvent erronée des mises en correspondance établies par le sujet entre les transformations matérielles du cube, qui ne sont pas encore conçues comme des rotations, et les états du cube, au sens des configurations perceptives perçues ou anticipées. Lorsqu'on demande ainsi à un sujet ce qui va se passer pour la croix se trouvant sur la face présente devant lui si on tourne le cube d'un quart de tour en avant, le sujet de ce niveau répondra qu'il la verra toujours, par exemple qu'elle ira à droite par rapport à lui. La transformation n'est pas encore conçue comme une rotation, et le cube est considéré comme n'ayant que quatre faces (les quatre faces visibles).

A un niveau IB (vers 6-7 ans), les sujets découvrent pourtant empiriquement les rotations en commençant à mettre en correspondance les mouvements simples du cube (une rotation en avant, une rotation à gauche, etc.), qu'ils différencient alors, avec les changements de configuration perceptive du cube (le passage de la croix en dessous, ou à gauche, etc.). Mais ces sujets ne parviennent pas à des compositions stables de plusieurs rotations. Un sujet pourra par exemple croire qu'une rotation en avant du cube, suivie d'une rotation à gauche, laissera invisible la croix (celle-ci ayant passé



sous le cube grâce à la rotation avant, ce qui était au contraire correctement anticipé). Il y a donc chez ces enfants établissement de correspondances correctes entre des états alors explicitement considérés comme effets des rotations et ces dernières. On a là une illustration de la façon dont les rotations simples « jouent le rôle décisif dans la compréhension de ce début de morphisme », mais aussi de la façon dont les transformations (de rotations simples) « sont préparées par une mise en correspondance entre les faces mêmes du cube, la croix correspondant [...] à un côté inverse blanc, etc. » (pp. 52-53).

c. Le niveau intermorphique

Cette fois les sujets parviennent à prévoir correctement ce qui va se passer lors des compositions de rotation. Certaines compositions seront plus vite comprises que d'autres (par exemple s'il s'agit de faire plusieurs fois une rotation de même type), la composition des rotations latérales avec les rotations avant-arrière, ainsi que la compréhension de la non-commutativité de cette composition étant un peu plus difficiles à atteindre. Ces résultats montreraient plus particulièrement « que les correspondances intermorphiques s'appuient sur des opérations intertransformationnelles » (p. 53 ; par « opérations intertransformationnelles » il faut probablement entendre des opérations d'espèces différentes enchaînées les unes aux autres), mais que par ailleurs « le jeu des comparaisons s'applique [...] aux transformations elles-mêmes » (id.)⁹⁶.

Ce qui caractérise ce niveau par rapport au suivant est que la composition des transformations et des états se fait encore de proche en proche, en suivant le fil d'opérations réelles ou imaginées. Si calcul ou inférence nécessaire il y a, il se fait seulement par rapport aux six faces du cube, et non pas par rapport à l'ensemble des positions de celui-ci, ensemble qui, pour être conçu, exige le recours à un référentiel extérieur, l'espace dans lequel est plongé le cube.

d. Le niveau transmorphique

Les sujets de ce niveau distinguent clairement les positions du cube de la qualité des faces. Pour un cube tout blanc, ils affirment qu'après avoir tourné celui-ci, on n'a pas la même chose, puisque le cube occupe une nouvelle position. L'importance accordée aux positions se manifeste aussi par la capacité qu'ont ces sujets d'inférer l'ensemble des positions possibles atteignables par les différentes sortes de rotations. Il y en a 24, affirmera ainsi d'emblée un sujet de 12 ans, « parce qu'il y a 6 faces et comme on peut le faire tourner 4 fois, 4 fois 6 = 24 » (p. 55). Le système des rotations d'un cube est pour la première fois considéré en sa totalité, en faisant intervenir, en plus de l'ensemble des correspondances entre transformations et états, le référentiel extérieur qui donne tout son sens à la notion de position.

Piaget résume enfin dans les termes suivants les résultats concernant les rapports entre les correspondances et les transformations :

La mise en correspondance entre les états ou les faces du cube constitue le préalable nécessaire qui prépare les transformations, mais ne portant d'abord que sur les relations entre deux faces contiguës. A un second niveau les compositions



entre transformations et morphismes devenant intertransformationnels vont de pair, tandis qu'à un troisième la découverte de la structure totale entraîne une composition des morphismes par un calcul tiré de ce système opératoire, d'où la nécessité interne de ces coordinations qui doublent le groupe d'une catégorie en tant que système de comparaisons simultanées (p. 56 ; par morphismes intertransformationnels, il faut probablement entendre des morphismes qui mettent en correspondance des transformations).

Regrettons encore une nouvelle fois l'absence de modélisation qui aurait permis de mieux relier les notions utilisées par Piaget aux faits qu'elles prétendent décrire ou caractériser. Il en résulte une incertitude inévitable dans l'interprétation de ses analyses et affirmations. On a ici le sentiment d'une assimilation inachevée des faits à un cadre théorique en voie de constitution, et d'une accommodation tout autant inachevée de ce dernier aux observations recueillies. Une part du travail de clarification est ainsi laissée au lecteur.

Chapitre IV : Compositions et conservation de longueurs (avec I. et M. Flückiger)

a. Introduction

Soit une surface (un champ) qu'il s'agit de clôturer sur l'un des côtés au moyen de barrières (ou blocs) de même longueur et déjà construites, ainsi que de fils les reliant les unes aux autres. Les sujets devront commencer par placer les barrières (trois ou six selon les cas) de manière à ce qu'elles soient à égale distance ; puis ils devront découper des fils également égaux entre eux, et relier les barrières pour achever la clôture (celle-ci se terminant à ses deux extrémités par une barrière, et chaque barrière étant séparée de sa voisine par un fil). Trois situations sont proposées, l'une avec des grandes barrières, l'autre avec des moyennes et la troisième avec des petites. Une quatrième situation sera en outre considérée, dans laquelle des blocs disposés entre deux extrémités sont ensuite déplacés ; le sujet devra en ce cas juger si la somme des espaces entre les blocs change lorsqu'on déplace ceux-ci (en éloignant ou rapprochant certains d'entre eux).

La particularité des trois situations de base est que les correspondances à établir sont « solidaires d'une programmation » (p. 56), en vue d'un but à atteindre. Les sujets les plus jeunes pourront certes progressivement atteindre le but fixé en s'appuyant sur des lectures empiriques. Mais cela ne signifie pas qu'ils découvriront pour autant les liens structuraux en jeu (comme les rapports de longueur entre la somme des barrières et celle des fils, ou la règle selon laquelle il y a toujours un fil de moins que

⁹⁶ Vu la claire délimitation des états et des transformations intervenant dans cette expérience, on peut regretter que Piaget n'ait pas serré de plus près son analyse des réponses des enfants, en désignant et en exposant clairement ce qui est correspondance intermorphique, opération intertransformationnelle, etc. Il aurait pu saisir l'opportunité de cette expérience pour préciser sur cet exemple concret comment y interviennent à la fois des transformations en tant que contenus de morphismes (ou termes de mises en correspondance) et des transformations opératoires. Malgré ces lacunes, ce chapitre aide pourtant à mieux comprendre en quoi le nouveau souci pour l'étude des (mises en) correspondances complète et enrichit l'approche opératoire classique.



les barrières). Cette expérience montrerait dès lors en quoi le développement des opérations enrichit les mises en correspondance.

b. Le niveau intramorphique

Les sujets (5-6 ans environ) procèdent par actions et perceptions successives, sans programmer la suite de leur action et en se corrigeant au coup par coup (par exemple un enfant peut commencer par mettre deux barrières l'une à côté de l'autre, puis se corriger après rappel de la consigne).

Les enfants de ce niveau ne procèdent pas de manière précurusive, en mettant en correspondance une action avec celles qui lui succéderont. La considération du but n'intervient qu'après coup pour chacune des actions entreprises. Ils font intervenir pourtant des régularités pour guider leurs actions (placement à intervalles réguliers par exemple, mais sans considération de la répartition finale totale). Ils respectent aussi le « morphisme de l'alternance » : une barrière suivie d'un intervalle ou d'un fil, suivi d'une barrière, etc. Mais comme il n'y a pas de précurvité, le résultat final ne parvient pas à atteindre l'objectif fixé par la consigne (une barrière à chaque extrémité, et sans vide, ou encore l'utilisation des trois ou des six barrières).

Enfin, et conformément aux solutions imparfaites données par les sujets, il n'y a pas à ce niveau de compréhension du fait que le nombre de fils est forcément d'une unité de moins que le nombre de barrières, ou que la somme des barrières est plus grande que la somme des fils (dans le cas des barrières de longueur moyenne et d'intervalles de même longueur qu'elles).

c. Les correspondances intermorphiques

Vers 7-8 ans les sujets partent du but pour programmer leurs actions. Ils tiennent donc compte d'emblée de trois correspondances : l'alternance entre les barrières et les fils, le placement d'une barrière à chaque extrémité et « l'isomorphisme » des intervalles. Cette triple considération ne leur suffit pas encore à prévoir ou déduire d'emblée la totalité des actions à entreprendre. Les sujets s'appuient en effet à chaque pas sur des essais et des constatations empiriques, avec choix d'une autre solution si l'une qui a été provisoirement choisie aboutit à un échec.

En ce qui concerne le nombre de fils par rapport à celui des barrières, les sujets ayant clairement en vue qu'un fil en relie deux, cela faciliterait leur compréhension rapide de la correspondance entre le premier de ces nombres et le second [nB implique $(n-1)F$]. Quant à la correspondance entre la somme des longueurs des barrières et celle des fils, elle est réussie dans le cas des barrières moyennes, pour lesquelles la longueur d'une barrière est égale à celle de l'intervalle, comme dans le cas des grandes. Il y a alors « composition intermorphique » portant sur « (1) la surjection des B en un tout continu [...] (2) la surjection des F en un continu analogue et (3) l'isomorphisme des deux ou l'injection de l'un dans l'autre » (p. 65). Par contre, faute de métrique, certains sujets de ce niveau, qui veulent aller plus loin que la simple appréciation perceptive donnant d'emblée la bonne solution, ne parviennent pas à juger de



façon certaine si le rapport entre la somme des petites barrières et la somme de leurs intervalles est effectivement celui suggéré par la perception.

d. Le niveau transmorphique

Comme pour les expériences des chapitres précédents, l'intervention d'un système d'opérations, en l'occurrence celui des divisions et multiplications numériques, permet aux sujets de donner une nouvelle forme au système des correspondances pré-cursives, et par là de résoudre sans aucun problème les questions de comparaison des sommes en jeu : « au lieu de chercher à répartir directement le tout en B et F alternés par une méthode d'approximations successives, le tout est d'abord divisé en deux sous-systèmes, la longueur des B réunis (ce qui dorénavant est dû à l'initiative du sujet et non pas à une question surajoutée), soit LB et la complémentaire $LT - SLB = SLF$ et seulement alors les sous-systèmes sont divisés en 6B et 5F ; en ce cas, ils sont déterminés d'un seul coup et non plus évalués pas à pas » (pp. 66-67). Et l'auteur de conclure par une affirmation cette fois tout à fait claire sur la façon dont les opérations interviennent dans la composition des correspondances : « ces compositions transmorphiques diffèrent des intermorphiques selon les critères habituels d'une utilisation d'opérations [les divisions, etc.] pour relier les correspondances en fonction d'un système total d'emblée compris comme tel » (p. 67)⁹⁷.

e. La vicariance et la conservation des intervalles

Un, deux ou trois blocs de carton sont placés à des intervalles variables sur un espace fermé à ses deux extrémités. Ces blocs sont ensuite déplacés toujours à l'intérieur du même espace. Les sujets doivent dire si le total des espaces intercalaires s'est ou non conservé (l'espace intercalaire est représenté par la somme des longueurs de fils tirés entre les blocs, et éventuellement entre les deux extrémités et les blocs qui leur sont les plus proches).

Lors d'une première étape, vers 6 ans, les enfants nient généralement la conservation de l'espace intercalaire (y compris pour la situation du bloc unique, l'espace intercalaire consistant alors à la longueur entre les deux extrémités, moins la longueur du bloc). Un deuxième groupe d'enfants (en moyenne entre 7 et 8 ans, avec un enfant de près de 6 ans) réussissent à affirmer la conservation, après l'avoir niée. Le constat empirique selon lequel la somme des longueurs des ficelles ne varie pas peut être l'une des voies permettant d'aboutir à la conservation. Un argument se retrouve généralement : si on déplaçait les blocs pour les faire retrouver leur position initiale, on constaterait que ça fait toujours le même espace. Enfin le troisième groupe affirme d'emblée la conservation.

Cette situation met en jeu deux problèmes reliés. Le premier est celui de la vicariance : la somme des intervalles plus la somme des blocs est la même lorsqu'on change leur répartition au sein du tout. Le second est celui de la conservation des intervalles, qui sont seuls à varier lorsque les blocs sont déplacés. Cette conservation peut être déduite de la conservation du tout et de la conservation des blocs. Elle peut aussi être reliée au fait que ce que perd un intervalle est regagné par un autre. Ces



deux arguments de conservation font intervenir des transformations, « mais accompagnées de correspondances inter- ou cotransformationnelles » (p. 69). Lorsque la conservation est basée sur la conservation du tout et de l'une des deux parties (les blocs), la correspondance est établie entre l'opération directe (intervalles + blocs = longueur totale) et son inverse (intervalles = totalité – blocs). Dans le second cas, la correspondance se fait entre ce qui est enlevé au début d'un déplacement et ce qui est ajouté à son terme (c'est la propriété de commutabilité). Dans la vicariance, les couples de parties sont également mises en correspondance (A2A92 en lieu et place de A1A91).

Cet examen des arguments de conservation et de la vicariance permet à Piaget de fournir une « formule générale des conservations qui unit en un tout les vicariances avec la commutabilité des déplacements » (p. 69). La formule proposée ne se laisse pas facilement interpréter dans le détail (on la trouvera à la page 70 de *Morphismes et catégories*). Elle revient, semble-t-il, à dire que l'argument de commutabilité appliqué pour le déplacement d'une partie du tout vaut pour le déplacement d'une autre partie.

Enfin, le problème du déplacement des blocs ne faisant pas intervenir une programmation des actions en fonction d'un but à atteindre, les sujets pourraient plus directement accéder « aux correspondances de commutabilité ou de vicariance et [...] les réunir en une composition intermorphique par déduction simple conduisant de l'une de ces correspondances à l'autre » (p. 70).

En définitive, cette dernière section sur les correspondances entre vicariance et commutabilité paraît plus être un apport à ce que l'on pourrait appeler la « théorie générale des conservations opératoires » qu'un éclaircissement sur les questions générales traitées dans *Morphismes et catégories*. Le chapitre suivant montrera pourtant avec plus de clarté comment les correspondances interviennent dans le traitement de la commutabilité.

Chapitre V : La composition des différences (avec E. Marti et E. Mayer)

a. Introduction

Deux problèmes isomorphes sont considérés dans ce chapitre. Le premier est caractérisé par les situations suivantes. Une ficelle, fixée en a à un poteau A, passe une, deux ou trois fois autour d'un poteau ou de deux (dans le cas de deux tours ou trois), en dépassant chaque fois de m centimètres, soit le poteau A (dans le premier et le troisième cas), soit l'autre poteau (dans le deuxième cas). Le problème pour le sujet est

⁹⁷ Notons en passant que les opérations de divisions et de multiplications utilisées par les sujets de ce niveau sont des « opérations scolaires » (« la division est une opération apprise et non pas inventée par l'enfant », p. 66), ces acquisitions scolaires devant pourtant, pour faire sens, être reliées à des « opérations spontanées de partition, répartitions et réunions avec complémentarités » qui, elles, sont construites par les sujets. On a là un indice du rôle accordé par Piaget à l'école encore plus significatif que celui que l'on peut lire dans les conclusions de *La géométrie spontanée* (1949) à propos de l'acquisition de la métrique euclidienne.



de savoir de combien il doit déplacer l'un des deux poteaux pour que cette différence soit annulée (dans le cas où un tour est fait autour d'un unique poteau, un éloignement de k de celui-ci par rapport au point de départ a de la ficelle est simultanément accompagné d'un rétrécissement de k de la distance entre le poteau et le point d'arrivée ; en ce cas la solution est donc de $m/2$).

Le second problème laisse mieux apparaître la solution commune qu'il partage avec le premier. Etant donné deux, trois ou quatre chemins avec chaque fois l'un d'entre eux dépassant d'une longueur m les autres, le sujet doit anticiper le nombre et la longueur des morceaux du chemin le plus long qu'il conviendrait de reporter sur les chemins plus courts pour que tous deviennent égaux (la réponse est plus évidemment m divisé par le nombre de chemins). Enfin, le sujet sera interrogé sur les parentés entre les deux problèmes.

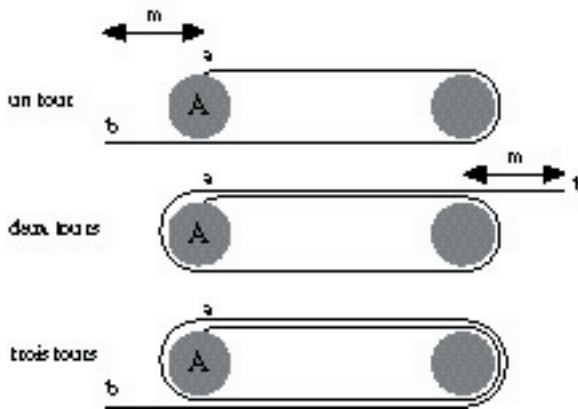
Piaget note que la solution commune du problème de la ficelle entourée autour d'un ou deux poteaux et du problème des chemins fait intervenir ce qu'il appelle une « double commutabilité directionnelle » (p. 73). La simple commutabilité intervient en tout déplacement d'une partie d'un objet, l'espace perdu au départ étant regagné à l'arrivée. La double commutabilité intervient dans le cas où deux objets sont considérés, par exemple deux intervalles séparés par un bloc, comme dans la recherche précédente (ce qui est perdu par un intervalle est gagné par l'autre). Dans la double commutabilité directionnelle, enfin, ce qui est gagné d'un côté est certes perdu de l'autre, mais perte et gain additionnent leurs effets par rapport à un référentiel extérieur. La question théorique qui guide cette recherche est alors de savoir quelles sortes de correspondances interviennent dans l'acquisition de cette forme de commutabilité. Le problème plus simple des chemins sera considéré dans la dernière section de ce chapitre.

b. L'absence initiale de commutabilité

Au niveau initial, les sujets prévoient qu'il faudra ôter la différence m entre le point de départ et le point d'arrivée de la ficelle pour que ces deux extrémités deviennent contiguës. Il déplacera donc l'un des poteaux d'une distance de m . Après constat de l'échec, il peut découvrir par l'action la solution du problème dans le cas où la ficelle fait un tour autour d'un poteau, mais n'en tire aucun profit lorsqu'il s'agit d'anticiper la solution pour un enroulement autour de deux poteaux. Il ne comprend pas pourquoi la différence est conservée, mais cette fois au profit de l'extrémité attachée au poteau A (l'extrémité a , qui était de m plus à droite que l'extrémité b , est maintenant à son tour de m plus à gauche que l'extrémité b). Il y a donc absence complète de commutabilité « au sens d'une correspondance entre ce qui est gagné à l'arrivée et l'espace équivalent perdu au départ » (p. 75). Des correspondances intramorphiques sont pourtant déjà constatées, ainsi que l'illustre un sujet découvrant l'égalité, dans la situation la plus simple, entre le dépassement initial de l'extrémité de départ de la ficelle par rapport à son extrémité d'arrivée (avant le déplacement) et le dépassement final de l'extrémité d'arrivée de la ficelle par rapport à son extrémité de départ (après le déplacement). Cette correspondance empirique portant sur les états avant et après les déplacements du poteau le conduit ainsi à croire qu'il n'y a pas moyen d'aligner les deux extrémités.

c. Les compositions intermorphiques

Au début de ce niveau, les sujets commencent par proposer un déplacement du poteau égal à la différence entre les deux extrémités de la ficelle, ou entre l'arrivée de la ficelle et le poteau proche de celle-ci. Ou alors ils refusent de se prononcer jusqu'à ce qu'ils aient pu empiriquement constater ce qui se passe. Après constat, ils découvrent que, dans le cas de la première situation, il faut déplacer de $m/2$ le poteau pour combler la différence d'alignement des extrémités. La correspondance qu'ils établissent alors dans cette situation entre l'écart initial m et la solution $m/2$ reste pourtant intra-



morphique, car « reliant deux termes et non pas deux correspondances élémentaires » (p. 77). La raison de cette loi reste de plus largement incomprise, encore qu'un premier pas est fait vers cette compréhension, dans la mesure où ces sujets prennent conscience qu'un mouvement de l'une des deux extrémités s'accompagne d'un mouvement à l'autre extrémité, ou vice versa.

Le passage à l'intermorphique consistera à relier ces deux correspondances, au début empiriquement constatées et qui restaient intramorphiques, en les concevant comme quantitativement symétriques et inverses et en comprenant que les deux commutabilités simples qui étaient attachées à chacune « n'en font qu'une, mais directionnelle et en deux sens contraires ».

Mais à ce niveau la compréhension de la solution pour la première situation n'implique ni prévision correcte pour les deux autres situations, ni compréhension de la raison de la loi générale (diviser m par le nombre de poteaux entourés plus un), lorsque celle-ci est découverte empiriquement. C'est que dans la première situation il est relativement facile d'appuyer la compréhension de la loi $m/2$ par le constat selon lequel ce qui s'enlève à l'une des deux extrémités s'ajoute simultanément à l'autre. Par contre dans les autres situations, en même temps que le raccourcissement de l'une des parties de la ficelle, il y a allongement des deux ou trois autres. Pour parvenir à la solution générale, il faudra « substituer à la composition intermorphique par équivalences symétriques ($m/2$ contre $m/2$) de la situation I une composition plus complexe où l'écart initial m est à diviser par le nombre de [parties touchées par le déplacement d'un poteau] » (pp. 79-80).



d. Les compositions transmorphiques

Un premier sous-niveau est considéré lors duquel les sujets distinguent les deux couples de relations « avance-recul » et « allongement-raccourcissement ». Dans la première situation par exemple, alors que le déplacement du poteau auquel est attachée l'une des deux extrémités de la ficelle provoque visiblement un raccourcissement de l'un des segments et un allongement de l'autre, celui du déplacement du poteau autour duquel la ficelle s'enroule semble entraîner un avancement simultané des deux sections de la ficelle. Même si ce constat peut entraîner des réponses apparemment moins bonnes que celles du niveau II, il favorise l'explication de ce qui se passe pour les deuxième et troisième situations. Le déplacement de l'un des deux poteaux tire en effet sur toute la ficelle, cela fait bouger chacun des secteurs dans la même direction, de telle sorte que le raccourcissement de l'un d'entre eux doit être distribué sur l'allongement des autres. Cette découverte conduit alors « laborieusement à la réponse correcte $m/3$ [ou] $m/4$ » dans le cas des deuxième et troisième situations (p. 81), en permettant ainsi le passage progressif au transmorphique directement atteint par les sujets d'un second sous-niveau (vers 14-15 ans seulement !).

Le niveau transmorphique est ainsi caractérisé par la compréhension du fait que le nombre de secteurs contigus est égal au nombre d'enroulement plus un et que chacun d'eux s'allonge de la valeur de m divisé par le même nombre. Ce que le secteur qui dépassait perd, il le regagne en partie, de telle sorte qu'il avance au même point que les autres secteurs.

Les résultats précédents montrent l'existence d'une différence qualitative entre le traitement des deux dernières situations par rapport à la première, où la seule considération de la compensation entre les deux secteurs inégaux de la ficelle, de la double commutabilité inversée, ainsi que des correspondances intermorphiques qui les accompagnent, suffisent à expliquer la raison de la loi $m/2$. Dans les deuxième et troisième situations on a affaire à une « multicommutabilité » dont il est impossible de suivre perceptivement les étapes, les allongements et raccourcissements se calculant au contraire « en fonction du rapport entre m et le nombre des secteurs, avec bijection entre les accroissements de chacun d'entre eux d'un côté et la suppression des $m/3$ du côté de la différence initiale m » (p. 82).

On retrouve ainsi à nouveau avec cette recherche l'intervention de correspondances transmorphiques différentes des intermorphiques « en ce sens que les correspondances sont à composer au moyen d'un calcul opératoire dépendant lui-même d'un système d'ensemble multivariationnel, dont la fermeture et les automorphismes fondés sur la conservation du tout (longueur totale de la ficelle) au travers des transformations permettent d'y voir également une catégorie élémentaire » (pp. 82-83 ; on regrettera là comme ailleurs que l'auteur n'ait pas pris soin de lier plus étroitement les concepts qu'il utilise avec les observations psychologiques, que ce soit celles livrées ici ou même d'autres imaginées afin de rendre plus manifeste ce lien).

e. La question des chemins et la comparaison entre les deux problèmes

En ce qui concerne le problème des chemins dont la longueur doit être égalisée, on constate un premier niveau, vers 6 ans, lors duquel les sujets raccourcissent le plus



grand d'une longueur égale à celle qui la sépare du plus petit (ou des plus petits), mais sans considérer l'effet que cette soustraction a sur le plus grand (dans la situation I, il en résulte une inversion du dépassement). Ils peuvent ensuite par tâtonnement aboutir à la solution exacte, mais sans comprendre pourquoi et sans exploiter cette solution pour d'autres situations. Les sujets ne parviennent donc pas plus à la « double correspondance fondée sur la commutabilité » (p. 84) qu'ils ne le faisaient dans le problème des poteaux. Enfin, interrogés sur la comparaison entre ce dernier problème et celui des chemins, ils avancent pour toute réponse des correspondances figuratives (exemple : il y a dans les deux cas des lignes).

Le problème des chemins étant plus simple que celui des poteaux, la solution est trouvée dès le niveau IIA aussi bien, et même plus facilement, pour les deuxième et troisième situations que pour la première (dans les situations II et III, il est plus facile d'aboutir à un résultat correct, dans la mesure où une division s'impose d'emblée). Un enfant de 7 ans H affirmera par exemple, pour la troisième situation (un grand chemin, en fait un bâton droit, et deux petits) : « Je veux couper ici, puis ça fera un bout pour ici, un bout pour ici et puis ça [implicitement pour le plus grand qu'il a coupé] » (p. 84). La raison pour laquelle les situations pour le problème des chemins sont réussies plus précocement que les mêmes situations dans le cas de la ficelle tournant autour de deux poteaux est simple. Dans le premier cas, l'action de soustraction (on coupe du grand la différence qui le sépare des petits), puis les actions de distribution (on répartit le morceau coupé entre l'ensemble des chemins devenus tous égaux), se font successivement. Dans les deuxième et troisième situations du premier problème le sujet a au contraire affaire à une « multicommutabilité pluridirectionnelle », dont il « doit traduire les avances et les reculs des éléments en un jeu bijectif d'allongements et de raccourcissements » (p. 85).

Mais une fois atteint le niveau III, le sujet n'a aucune peine non seulement à résoudre le problème des chemins, mais à voir la similitude des problèmes (par exemple pour un adolescent de 15 ans H : « On divise toujours et là aussi les longueurs des restes... des bouts de chemins qui dépassent » (p. 86). « La correspondance de structure à structure » que parviennent à saisir les sujets de 14-15 ans « s'engage ainsi dans la direction des foncteurs », ce qui renforcerait la conclusion de la section précédente « quant à la parenté entre les compositions transmorphiques observées [chez les sujets du troisième niveau] et les organisations catégorielles élémentaires » (p. 86). En d'autres termes, s'il est vrai que les correspondances de correspondances entre états (ou les « morphismes ») et leurs compositions qui caractériseraient les solutions données par les sujets de niveau III au problème de la ficelle et des poteaux constituent une sorte de « catégorie élémentaire », cela est aussi vrai des morphismes et de leurs compositions qui interviendraient dans le second problème ; dès lors la capacité du sujet d'établir une correspondance entre ces deux catégories élémentaires s'apparenterait en effet à ce que les mathématiciens désignent sous le nom de foncteurs⁹⁸.



Chapitre VI : Les sections d'un parallélépipède et d'un cube (avec H. Kilcher et J.-P. Bronckart)

a. Introduction

Le problème consiste ici à prévoir la forme des surfaces qui résultent de la section d'un parallélépipède ou d'un cube. La transformation est ici unique : il ne s'agit pas de composer des sections. Les variations sont introduites par le choix de la ligne initiale de section et par l'angle que l'on va choisir par rapport au volume à sectionner [la surface produite est donc fonction de la ligne de surface et de l'inclinaison de la section, soit $s = f(x,y)$]. On a donc affaire à des variations de positions et de directions « qui sont bien des transformations morphiques » (p. 87). En termes un peu barbares, Piaget s'attend à trouver pour les « sous-figures » résultant d'une section d'un volume des « correspondances intra-, inter- et transsousfigurales selon que le sujet s'en tient aux observables, se livre à des inférences en tenant compte des trois dimensions ou en arrive à une structure d'ensemble dont les compositions déductives sont systématiques » et permettent d'engendrer l'ensemble des « sous-figures » possibles (pp. 87-88).

b. Les correspondances élémentaires

A ce niveau (vers 6-7 ans), les enfants ne prévoient d'abord la forme de la surface résultant de la section qu'en fonction de la ligne de surface et de la forme de la face supérieure du volume ! Par exemple, si la ligne de section divise la face supérieure d'un parallélépipède rectangle en deux carrés, les sujets s'attendent à ce que la surface verticale résultant de la section soit également un carré ; ou encore, si la ligne de section se confond avec l'une des deux diagonales de la face supérieure du parallélépipède en formant ainsi une surface supérieure triangulaire, ils prévoient que la surface verticale résultant de la section sera également un triangle. Après une ou deux constatations, certains sujets peuvent certes admettre que la section produira un rectangle, mais tout en modulant d'une manière caractéristique leur réponse en ajoutant, par exemple, « mais le tout, c'est un triangle » (dans le cas où la ligne de section est la diagonale).

Ces réponses en rappellent d'autres, obtenues dans d'anciennes recherches, comme celle de ces enfants affirmant au sujet de deux collections, l'une de trente objets et l'autre de dix, que si l'on tire sept objets de chaque collection, les sept premiers font plus que les sept tirés de la collection de dix. Ces réponses apparaissent lorsque l'extension et la compréhension logiques ne sont pas complètement dissociées. Il en va de même ici, sauf que ce qui est en jeu est un volume spatial avec ses parties intérieures : si, comme le disent explicitement certains enfants, le volume résultant de la section est un triangle (comportant une épaisseur), cette propriété d'être un triangle tend à caractériser aussi chaque partie du volume. En d'autres termes plus généraux, le sujet tend à attribuer les caractéristiques de l'enveloppant à l'enveloppé. Cette indifférenciation du tout et de ses parties se révèle également à travers les réponses des enfants jusque vers 8 ans, lorsqu'on leur demande ce qui distingue,



par exemple, les carrés des cubes : les seconds sont simplement des carrés qui ont une épaisseur.

Du point de vue des correspondances intervenant à ce niveau, cela signifie que le sujet établit une surjection entre les parties du volume et la face supposée caractériser ou encore envelopper (par sa compréhension) celui-ci. Pour différencier le tout de ses parties, il faudra qu'il fasse intervenir la correspondance réciproque, c'est-à-dire la « multijection » du tout vers ses parties, ce qui dans le cas d'un volume pose tout le problème de concevoir les éléments « quasi insécables » de son continu intérieur. Comme les anciennes recherches sur l'espace l'ont montré à propos de l'espace tout entier, ce n'est qu'en intégrant les trois dimensions d'un volume qu'il devient possible de concevoir cet intérieur.

c. Le niveau intermorphique

L'âge de 9-10 ans constaté pour la découverte du volume intérieur, lors des anciennes recherches sur la représentation de l'espace, se retrouve ici. Le problème que se pose alors Piaget, conformément à l'objectif général des nouvelles recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories, est « de comprendre avec l'aide de quels correspondances ou morphismes s'effectue ce changement de perspective dont nous ne connaissons jusqu'ici que l'aspect opératoire et transformationnel » (p. 92).

Vers 9-10 ans les enfants comprennent que les volumes ne sont plus seulement des surfaces qui ont une épaisseur, mais que ce sont des objets composés de trois dimensions. Dès lors, des correspondances commencent à être établies qui sont basées sur les directions. Certes les enfants plus jeunes établissaient déjà des correspondances selon le parallélisme ou l'orthogonalité de deux droites. Mais l'intervention des dimensions, et notamment de la troisième, change la situation en ce qu'elle permet de ne plus identifier un volume à sa surface supérieure. Une face sera conçue comme pouvant être aussi bien verticale qu'horizontale. De même l'intervention de la troisième dimension permettra de mettre en correspondance les surfaces intérieures, cachées, avec les surfaces visibles du solide. La mise en correspondance d'une surface intérieure avec les côtés verticaux du solide, et non plus seulement avec la surface supérieure, permet au sujet d'aboutir à des prévisions correctes. Celui-ci pourra par exemple affirmer que, même si la ligne de section se confondant avec la diagonale d'un parallélépipède change sa surface supérieure en deux triangles, il n'en reste pas moins que la surface intérieure « sera toujours un rectangle parce que

⁹⁸ Donnons à titre d'illustration des suggestions modélisantes que Piaget trouve dans la théorie mathématique des catégories la définition de la notion de foncteurs que l'on peut trouver dans le dictionnaire de mathématiques publié par Lucien Chambadal aux Editions Hachette : « Un foncteur [...] F d'une catégorie A dans une catégorie B fait correspondre à tout objet A de A un objet, noté $F(A)$, de B , et à tout morphisme f de A dans A_9 , où A et A_9 sont des objets de A , un morphisme, noté $F(f)$, de $F(A)$ dans $F(A_9)$ ». Même si cette définition ne s'applique pas en un sens strict à ce que vise Piaget dans son analyse des correspondances établies par les sujets, il y a à l'évidence un air de famille suffisamment proche pour renforcer la thèse du constructivisme génétique (cherchant dans les activités organisatrices du sujet la source des mathématiques) et pour justifier l'emprunt du langage mathématique pour caractériser les différents niveaux de correspondance mis à jour chez les sujets.



ça sera toujours allongé et puis... en hauteur ça aura la même hauteur que le rectangle [les côtés verticaux du parallélépipède] » (p. 95).

Pourtant les réponses des sujets restent de type intermorphiques dans la mesure où ils n'accèdent pas à un système d'ensemble qui leur permettrait d'engendrer la totalité des solutions possibles. Un indice du caractère progressif et concret, constamment lié aux observables possibles, des correspondances établies à ce niveau est qu'ils n'ont généralement pas l'idée de réaliser des sections obliques par rapport au volume. Ce privilège accordé à l'orientation verticale de la section apparaît aussi clairement lorsqu'ils répondent par la négative à une question sur la possibilité de sectionner le parallélépipède de manière à ce que la surface en résultant forme un carré.

d. Dans la direction du transmorphique

La construction d'un système d'ensemble permettant d'engendrer l'ensemble des sections possibles est loin d'être évidente dans le cas du présent problème. Seuls quelques sujets de 16-17 ans sont parvenus à prévoir que des formes telles que des trapèzes, des triangles, des pentagones et des hexagones peuvent en outre être produites, en plus des carrés et des rectangles. Les deux « instruments de mises en correspondance » que sont le parallélisme et l'orthogonalité, qui par application aux plans ont permis les réponses du deuxième niveau, s'avèrent être des freins pour le passage au niveau des correspondances transmorphiques.

Un premier sous-niveau III verra pourtant les sujets se libérer du parallélisme entre la direction de la section et la verticalité des côtés du solide, et introduire l'idée d'une rotation de la première autour de la seconde. Une limitation de ce type ne sera toutefois pas complètement levée, dans la mesure où ces sujets continueront à s'imposer comme règle que, soit cette direction de section, soit la ligne de section doit être parallèle à l'un des côtés du parallélépipède (seules des surfaces dont les angles sont droits sont ainsi produites). Ce n'est qu'au terme de cette libération progressive des contraintes de parallélisme et de perpendicularité que le sujet parviendra à concevoir des sections engendrées par une ligne et une direction de section toutes deux obliques. Ainsi, après s'être imposé des limitations de même espèce, un sujet de 16 ans H affirmera-t-il que l'on peut, par exemple, partir d'angles opposés du parallélépipède et couper le volume obliquement par rapport aux côtés. Il est assez évident que, parvenu à ce niveau, un sujet pourrait atteindre assez facilement le système transmorphique permettant d'engendrer l'ensemble des cas de figures possibles.

En définitive cette recherche montre comment le champ des correspondances s'étend progressivement par l'introduction successive de nouvelles variables (diagonale ou non, obliquité en profondeur ou non, mais aussi nombre d'arêtes franchies, etc.). La « liberté croissante des compositions entre correspondances » (p. 98) propre au troisième niveau serait dès lors la marque du passage de l'inter- au transmorphique.



Chapitre VII : Les correspondances de parentés (avec C. Brulhart et E. Marbach)

a. Introduction

Avec ce chapitre commence l'étude des morphismes et de leurs compositions sur le plan de la logique. Piaget commence par noter qu'à la différence des transformations, en ce qui concerne les correspondances, il intervient seulement des renversements par réciprocité (et non pas des inversions, liées à des annulations ou des négations). En cas de réciprocités bijectives accompagnées d'une équivalence des termes (par exemple dans le cas de la correspondance entre frères), ces réciprocités seront appelées « symétries ». Les relations de parenté mettent en œuvre à la fois des réciprocités non symétriques (père-fils) et des symétries (frère-frère). L'auteur note aussi que la recherche sur les morphismes lui donne enfin un moyen efficace pour réaliser un vieux projet et combler « une lacune d'un demi-siècle ! » (p. 100) : l'étude générale, non limitée à la notion de frère ou de sœur, des relations de parenté. Il rappelle aussi l'analyse logique qu'il a faite de ces relations, analyse ayant montré que « les systèmes de parenté constituent les plus complexes des groupements » (id.), faisant intervenir des multiplications co-univoques aussi bien des classes que des relations. Les systèmes de parenté sont ainsi proches des systèmes liés à la classification naturelle des espèces, à la différence près que les premiers ont des noms pour représenter les relations et les classes y intervenant (alors qu'il n'y a pas de terme pour désigner par exemple la relation entre deux espèces). Enfin, non seulement il existe un système de désignations générales des classes et des relations lié au système de parenté, désignations qui sont relatives et transférables entre familles distinctes, mais ces classes, relations et désignations comportent en outre « la possibilité de vicariances au sein d'un même tout », en constituant ainsi « une troisième forme de groupement » (id.). Un individu X étant relié à un autre individu Y au sein d'une famille, et étant désigné d'une certaine façon (par exemple « cousin issu de germain ») par rapport à Y, il sera toujours possible de considérer les relations entre X et Y à partir du second et de trouver une désignation (qui peut être aussi complexe qu'on veut, comme la première) qui caractérise le rapport de Y à X (dans l'exemple choisi, la notion de cousin étant symétrique, il suffira de remplacer les termes l'un par l'autre et de reprendre la qualification « cousin issu de germain »).

Ce préambule, dans lequel toute la puissance de l'ancienne modélisation opératoire se fait jour, montre comment Piaget sera ici à l'aise pour traiter non plus préférentiellement les opérations multiplicatives intervenant au sein des groupements en question, mais les formes de morphismes propres aux liens de parenté.

Pour produire les données nécessaires à cette étude, il suffira de demander aux enfants d'utiliser des flèches préfabriquées et désignant des relations de parenté, dans le but de relier des poupées supposées appartenir à une famille, certaines des relations en jeu pouvant avoir été préalablement désignées par l'expérimentateur en utilisant des flèches similaires. En plus des multijections (par exemple, de père à filles) et des surjections (de filles à père) élémentaires qui peuvent apparaître, se trouvent des correspondances par « co-surjections symétriques », reliant les termes appartenant à une même surjection (la correspondance entre sœurs), ou par de « co-surjections asymétriques », lorsque les termes mis en correspondance ne sont pas de même rang



(par exemple, les cousins de degrés éloignés et qui ne sont pas de la même génération). Enfin, Piaget introduit encore la notion de correspondance « aliotransitive », qui recouvre le fait que, par exemple, « le cousin de mon cousin peut être mon cousin, mon frère ou moi-même » (p. 101).

Les problèmes types posés aux sujets vont donc être de décrire au moyen de poupées et de flèches données des systèmes de parenté variés (d'abord la famille du sujet interrogé, puis des systèmes dont certaines relations sont fixées par l'expérimentateur lui-même, le sujet devant en ce cas les compléter). Par exemple, étant donné deux relations (ou plus) entre A et B et entre B et C, ils devront trouver la relation entre A et C, ou bien ils devront s'efforcer de remplacer la relation entre deux individus en utilisant un système de désignation autre que celui donné au départ (excluant par exemple l'emploi du mot « oncle »).

Les sujets devront de plus comparer deux systèmes équivalents, mais présentés par des dispositions spatiales différentes.

b. Le niveau IA : débuts des correspondances intramorphiques

Piaget commence par donner une précision importante. L'affirmation d'une relation de parenté ne constitue pas à elle seule une correspondance. Il faut que s'y ajoute, serait-ce implicitement, la notion de répétibilité (A est à B comme C est à D). Cela dit, les sujets de ce niveau peuvent affirmer des relations de parentés qui sont le plus souvent peu stables et le plus souvent erronées, quoique compréhensibles (par exemple le grand-père vu comme le grand-père de tous les membres de la famille). Ces relations découlent d'une indifférenciation des extensions et des compréhensions (l'exemple du grand-père, ou encore du père considéré aussi comme l'oncle de son fils dans la mesure où il est lui-même frère). A ce premier sous-niveau, il faudra qu'une même relation (par exemple « être fils de ») se généralise de manière stable à plusieurs couples de termes pour que les premières correspondances intramorphiques apparaissent (ici la surjection fils et la co-surjection frère).

c. Le niveau IB : les correspondances intramorphiques

Vers 6-7 ans les sujets repèrent mieux les relations de parenté au sein de leur famille et commencent à établir des co-surjections stables (par exemple « les fils de grand-papa et grand-maman » qui sont les pères des cousins). Mais dès qu'il s'agit de transposer à l'extérieur de la famille, par exemple pour un cas abstrait où A est frère de B, et B oncle de C, les sujets ne parviennent pas à généraliser les correspondances reconnues à l'intérieur de celle-ci (dans le schéma proposé, où A est père de C, un enfant peut dire par exemple que A est frère de C). A ce niveau les sujets en restent à l'établissement de correspondances entre personnes connues. Si les enfants échouent dès que l'on substitue des termes abstraits aux personnes de leur famille, c'est qu'alors, pour maîtriser les schémas, il faut composer les correspondances élémentaires (par exemple composer AC au moyen des correspondances intramorphiques AB et BC). Et si l'enfant parvient à trouver la solution à l'intérieur du système familial, c'est qu'il a été familiarisé autant avec la correspondance AC entre les personnes qu'il connaît qu'avec les correspondances AB et BC entre le même groupe de personnes.



Piaget observe aussi que si des correspondances surjectives (par exemple entre les petits-fils d'un même grand-père) peuvent être acquises dès ce niveau, les correspondances co-surjectives qu'elles entraînent sont plus difficiles à maîtriser (comme le montre l'exemple connu depuis longtemps des enfants qui, à la question de savoir quels sont les frères de leur frère, ne se désignent pas eux-mêmes). Parmi les nombreuses illustrations des embarras des enfants de 6-7 ans au sujet de ces correspondances collatérales, mentionnons aussi le cas d'un sujet qui nie que l'oncle de son frère soit aussi son oncle.

d. Le niveau II : les correspondances intermorphiques

Les sujets de ce niveau (9-10 ans environ) sont capables de composer des correspondances intramorphiques reliant les termes de rapport de parenté pour construire de nouvelles correspondances, et cela en dehors même de la considération des membres de leur famille. Un sujet sait par exemple avec certitude que si A est père de B et frère de C, alors C est l'oncle de B qui est lui-même le neveu de C. A propos de deux familles présentées à un sujet, dans la première desquelles A est père de B et B oncle de C (le sujet devant trouver AC), et dans la seconde desquelles B est fils de A et C petit-fils de A, le sujet trouve sans peine la relation AC et reconnaît qu'elle est la même que AC dans la seconde famille, « mais dans l'autre sens » (p. 111).

Ce qui frappe dans les réactions des enfants de ce niveau, c'est la capacité de construire les correspondances et non plus seulement de les observer (dans leur famille). Les co-surjections sont aussi maîtrisées, ce qui signifierait que les sujets tiennent compte de « l'emboîtement des générations à partir du plus proche ancêtre commun » (p. 111). Il y a donc « série de relations et correspondances devenues nécessaires parce que fondées déductivement sur un système de transformations, qui sont les filiations matériellement engendrées par les successeurs de l'ancêtre commun » (p. 112). On voit bien ici comment les correspondances intermorphiques dépendent de l'acquisition d'un système de transformations. Enfin, Piaget observe le rôle important que joue la réciprocité dans l'établissement des correspondances intermorphiques.

e. Le niveau III : vers les correspondances transmorphiques

De ce que les sujets de niveau II parviennent à composer des correspondances pour relier des termes d'un système de parenté, il n'en résulte pas qu'ils dominent automatiquement, ne serait-ce qu'en puissance, la totalité des correspondances possibles au sein du système. La preuve en est que ces sujets peuvent nier l'existence de relations entre termes éloignés du système. Pour y parvenir, il faudra que les sujets considèrent les « surjections asymétriques » entraînant des « co-surjections asymétriques » (un oncle et un neveu sont reliés à un ancêtre commun ; ce lien qui les réunit est une co-surjection asymétrique, dans la mesure où l'un est le fils de cet ancêtre, l'autre le petit-fils). C'est par la voie des oncles, des tantes, des neveux et des nièces que tous les individus issus d'une même lignée d'ancêtres peuvent être reliés, d'ailleurs par des trajets multiples (par exemple A, oncle de B, est frère du père de B, mais aussi père du cousin germain de B, ou encore fils du grand-père de B, ou encore grand-père du neveu au second degré de B, etc.; on peut ajouter le nombre que l'on veut



de générations). On voit que si tous les êtres humains sont issus d'un même ancêtre, il est possible, en droit, de décrire la relation de parenté entre chaque couple d'êtres humains et de classer ceux-ci au moyen des surjections asymétriques aussi bien que symétriques. Piaget propose d'ailleurs une formule dans laquelle entrent en jeu deux facteurs clés : le nombre de générations entre les deux individus considérés, ainsi que ce qu'il appelle la distance horizontale et qui généralise probablement le constat d'une distance plus grande entre des cousins et cousines qu'entre des frères et sœurs, ou entre des cousins au second degré qu'entre des cousins germains, etc. (on trouvera cette formule à la page 113 de *Morphismes et catégories*).

f. Conclusions

Piaget observe tout d'abord que contrairement aux autres tâches présentées jusqu'ici, le sujet ne doit pas transformer des objets (la seule transformation en jeu, certes essentielle, est celle de la filiation biologique), mais découvrir des correspondances entre individus ou classes d'individus au sein des systèmes de parenté. Cela n'empêche pas de retrouver la même succession de réponses, qui vont de l'observation de correspondances intramorphiques jusqu'aux correspondances transmorphiques finales, atteignables seulement lorsque les sujets parviennent à saisir sous une forme encore toute intuitive la structure des groupements de multiplications co-univoques des classes et des relations, en passant par les correspondances intermorphiques dont on constate là aussi qu'elles ne sont atteintes qu'à un stade avancé des opérations concrètes (chez des enfants qui ne saisissent pas d'un seul regard, pour ainsi dire, les groupements mentionnés, tout en utilisant successivement certaines opérations de ceux-ci)⁹⁹. L'auteur ajoute que si l'accès à l'intramorphique, à l'intermorphique et au transmorphique est plus tardif sur le plan des relations de parenté, c'est vraisemblablement parce que, précisément, le sujet ne peut pas agir sur les objets de ce domaine pour les transformer, comme il le fait dans les autres. Ce qui est une autre manière de confirmer le lien étroit entre le développement des correspondances et celui des transformations opératoires, et plus précisément « la subordination des morphismes aux structures transformationnelles » (p. 115).

Citons pour finir le dernier paragraphe de ce chapitre, dans lequel est mentionné le lien formel établi par le logicien Wittman entre les groupements découverts par Piaget à la fin des années 40 et la notion mathématique de catégorie :

[Au] niveau transmorphique les morphismes de parenté constituent une catégorie. Comme l'a montré Wittman avec l'approbation de McLane lui-même [le créateur de la théorie mathématique des catégories], les « groupements » peuvent être mis en forme de « catégories spéciales ». Or celui des parentés est le plus riche d'entre eux et ses compositions sont les plus variées en leur détail. La genèse dont nous venons de retracer les étapes semble donc représentative de la formation psychologique des catégories « spéciales » (p. 115 ; par « catégorie spéciale » il faut très certainement entendre le fait que l'on n'a pas en ce cas affaire à des catégories caractérisant des êtres mathématiques abstraits et généraux, comme les groupes, les anneaux, etc., mais à des êtres qui, d'une part, conservent un lien avec une réalité concrète, telle que les actions ou les opérations des sujets, et



d'autre part n'ont pas une extension aussi générale que peuvent l'être les objets dont s'occupe la mathématique pure).

Il est évident que ce travail de Wittman a dû enchanter Piaget. En effet il tend à renforcer considérablement la thèse constructiviste, déjà corroborée par la découverte des structures opératoires, que les objets des mathématiciens ont un lien de nature avec le développement des outils et des formes logico-mathématiques de l'intelligence humaine (et au-delà avec les formes les plus générales d'organisation du vivant).

Chapitre VIII : Un cas particulier de symétrie inférentielle (carte routière à lire à l'envers) (avec A. Karmiloff-Smith)

a. Introduction

La symétrie est une bonne forme en ce sens que les symétries figurales sont très tôt reconnues et utilisées par les enfants. Mais qu'en est-il lorsque le sujet doit lui-même construire une symétrie dans laquelle il y a renversement du sens (renversement entre la gauche et la droite, ou entre le haut et le bas) ? Pour étudier cette question, on utilise un rouleau sur lequel sont représentés des routes, des bifurcations, des maisons, des paysages, etc. Le rouleau étant progressivement déroulé vers l'avant et enroulé vers l'arrière, l'expérimentateur demande au sujet de déplacer une voiture sur la partie visible en empruntant les routes qui y figurent pour aboutir à une destination finale (une plage). Comme l'enfant ne connaît pas le trajet et qu'il ne peut pas le voir dans sa totalité, on lui remet une carte représentant à une échelle réduite ce qui figure sur le rouleau. Mais cette carte est présentée en sens inverse par rapport au rouleau et collée sur la table (le sujet ne peut donc tourner ni le rouleau ni la carte). Il peut pourtant se lever et consulter la carte à l'endroit, mais il devra revenir à sa place pour diriger la voiture. Il s'agit donc d'établir une bijection entre la carte et le rouleau en inversant les orientations. Seuls trois jeunes sujets de 5 ans ont eu leur tâche facilitée par le fait que la carte avait été spécialement placée à l'endroit par rapport au rouleau.

b. Le niveau intramorphique

A un niveau IA (deux des trois sujets mentionnés ci-dessus), en dépit de l'orientation commune de la carte et du trajet sur le rouleau, le sujet n'établit aucune bijection entre celle-là et celui-ci. La seule correspondance reconnue est celle entre les points de départ et les points d'arrivée. A un niveau IB (troisième sujet mentionné plus haut), les bijections entre des points intermédiaires sont utilisées, mais à condition que la carte ne soit pas inversée. Ce sujet de 5 ans H environ dira par exemple : « si on fait une faute vers l'endroit où on veut aller, on regarde la carte et on se corrige » (p. 119). Lorsque la carte est placée à l'envers, l'enfant sait que la place située en haut sur la carte se trouve dès lors en bas sur le rouleau, mais dès qu'il agit effectivement, il tend à faire prendre à la voiture l'orientation qu'il a vue sur la carte en justifiant alors son action par des indices qui n'ont rien à y voir (la courbure de la route, etc.).



c. Les correspondances intermorphiques

L'enfant utilise à la fois les bijections (maîtrisées au niveau précédent lorsque la carte est tournée dans le même sens que le rouleau) et les correspondances par inversion des positions ou symétrie. Cette composition est progressive. A un niveau IIA « le sujet ne parvient aux inversions que de façon locale et successive, obligé qu'il est de reconstituer le retournement lors de chaque nouvelle bifurcation » (p. 120). De plus il s'aide de son corps pour se représenter ce renversement. Au niveau IIB (mais la distinction est peu claire), il semble que les sujets utilisent plus systématiquement et avec moins d'erreurs la procédure de l'inversion à chaque bifurcation. Enfin l'auteur mentionne le cas d'un enfant de 8 ans H dont la réponse se rapprocherait du niveau suivant : « [Inutile de consulter des indices figuratifs (présence d'un bosquet, etc.)], on n'a qu'à se dire de faire le contraire à chaque coup » (p. 122). Ce sujet représenterait « l'intermorphique à l'état pur, ne procédant plus que par composition sans recours à des repères qui les ' compliquent ' inutilement » (p. 123).

d. Vers le transmorphisme

Dès 11-12 ans il n'y a pratiquement plus d'erreurs. Les sujets donnent le sentiment de saisir d'un seul regard la suite des mouvements à accomplir avec leur inversion. La carte et son renversement servent de système d'ensemble qui permet avec certitude d'atteindre pratiquement les yeux fermés tout point que l'expérimentateur désignerait (l'interprétation exposée ici insiste plus sur la vision d'ensemble que sur la nécessité, contrairement à celle de Piaget, pour qui la nécessité serait caractéristique du niveau III ; il est vrai qu'il introduit la notion d'une « nécessité globale » liée alors à celle de système d'ensemble).

Après avoir résumé une expérience complémentaire qui confirme la précédente, l'auteur conclut ce chapitre par un commentaire sur le fait que l'existence des symétries figurales précoces (y compris les symétries avec renversement) ne facilite pas la résolution d'un problème tel que celui de la carte inversée. Ceci serait un indice supplémentaire du fait que l'acquisition des correspondances intermorphiques et transmorphiques dépendrait de la construction des transformations. En d'autres termes, « c'est cette subordination des symétries à une structure qui leur confère leur caractère de morphismes déductibles mais qui explique leur formation tardive en tant que faisant appel aux acquisitions logiques des stades opératoires » (p. 127).

⁹⁹ Piaget n'établit pas explicitement ici de relations entre l'accès aux correspondances intermorphiques et transmorphiques d'un côté, et la construction des groupements multiplicatifs co-univoques de l'autre. On peut cependant noter que ceux-ci sont construits chez les sujets de 10 ans environ, c'est-à-dire l'âge où, en effet, il y a une bonne maîtrise des correspondances intermorphiques, alors que les correspondances transmorphiques ne font que s'esquisser.



Chapitre IX : Conflits entre symétries (avec A. Karmiloff-Smith)

a. Introduction

Cette deuxième recherche sur les correspondances impliquant un ordre renversé fait intervenir plusieurs symétries, spatiales, logico-arithmétiques et figurales susceptibles d'entrer dans la résolution d'un problème d'équilibre physique.

Le problème auquel sont confrontés les sujets est celui d'équilibrer le fléau d'une balance à quinze trous, fléau qui peut être déplacé par rapport à l'axe de la balance et auquel on peut suspendre des objets métalliques de même grandeur, numérotés de 1 à 9, et dont les poids s'accroissent d'une certaine unité en fonction du chiffre indiqué (un objet 1 vaut une unité de poids, un objet 2, deux unités, etc.). Les objets 1 à 5 sont présentés en deux exemplaires, les autres sont uniques (pour les compenser le sujet devra additionner des objets 1 à 5). Deux séries d'objets peuvent en outre être présentés, des rouges et des jaunes, tous respectant les règles précédentes, mais les seconds étant un peu plus lourds que leurs correspondants rouges. Différents sous-problèmes sont alors posés aux enfants : 1. poser et équilibrer le fléau auquel il s'agit de suspendre tous les rouges ; 2. idem mais avec tous les rouges et tous les jaunes, ou avec une collection réduite de chacune des deux séries pour les plus jeunes enfants ; 3. le fléau étant fixé de manière décentrée par l'expérimentateur, le sujet doit utiliser tous les rouges ou quelques-uns d'entre eux pour l'équilibrer ; 4. une fois le troisième problème résolu, on demande au sujet de prendre un poids suspendu à l'une des deux extrémités du fléau, de le fixer à l'autre extrémité puis d'équilibrer à nouveau la balance ; 5. enfin le cinquième problème consiste pour le sujet à ajouter deux poids rouges ou jaunes, le fléau ayant été préalablement équilibré par l'expérimentateur.

b. Les correspondances initiales

Au niveau IA, le sujet se contente d'établir une correspondance simplement figurale en plaçant successivement un, deux ou trois objets d'apparence identique de chaque côté du fléau posé de manière centrée. Il peut alors arriver à l'équilibre en déplaçant par hasard les poids sur les clous du fléau, mais sans comprendre pourquoi parfois il y a équilibre et parfois pas. Au niveau IB, le sujet tient compte des chiffres inscrits sur les objets de la série rouge, mais pour les exemplaires uniques il ne sait que faire. Lors de la situation où il y a deux séries d'objets identiques à l'exception de leurs poids, il continue à placer symétriquement les objets marqués du même chiffre et appartenant à chaque série, et ne comprend pas pourquoi la balance ne s'équilibre pas lorsqu'il place les rouges d'un côté et les jaunes de l'autre. C'est donc uniquement des correspondances figurales d'objets à objets qui sont considérées à ce niveau.

c. La quantification du poids

Du niveau I au niveau II, les sujets en arrivent à intégrer progressivement le poids dans leur démarche, mais d'abord de façon purement qualitative, par distinction de léger et de lourd, et en cherchant à équilibrer le lourd au moyen des légers (« plusieurs petits pour un même poids [lourd] », p. 133). Au niveau IIA des symétries



additives sont atteintes, mais par tâtonnements et avec des régressions (pour les cas difficiles). Un sujet de 8 ans H découvre le procédé qui consiste à choisir pour chaque côté des objets dont l'addition respective des chiffres donne une somme égale de part et d'autre. Mais dès que l'expérimentateur passe aux deux séries de jetons et que le sujet constate leur inégalité de poids, il juge impossible d'atteindre l'équilibre. Le niveau IIA se caractérise donc par un début d'intermorphisme entre les correspondances pondérales d'un côté, numériques de l'autre.

Outre un intermorphisme complet pour la situation des objets rouges, avec additivité permettant d'atteindre l'équilibre pour le fléau centré, le sujet de niveau IIB devient capable d'établir des « correspondances croisées » (p. 134) lorsqu'il s'agit d'équilibrer la balance avec les deux séries de jetons (le rouge 5 et le jaune 6 contre le rouge 6 et le jaune 5 par exemple). Les correspondances directes (rouge 3 et jaune 2 d'un côté, rouge 3 et jaune 2 de l'autre) sont atteintes à une phase intermédiaire entre le niveau IIA et le niveau IIB. Ce niveau intermédiaire se caractérise aussi par l'apparition de conflits entre les correspondances pondérales et numériques chez des sujets qui, tout en sachant dans l'action utiliser une symétrie égalisatrice des poids (par exemple $9 + 6$ et $8 + 7$), nient qu'il y ait une somme égale des deux côtés du fléau : « parce que là il y a un 9 et pas là », dira ainsi un sujet de près de 9 ans H (p. 135). Cette difficulté disparaît chez les enfants de niveau IIB.

En résumé, un lien est établi entre les poids et les chiffres dès le niveau IB, mais seulement pour les cas où aucune somme n'est nécessaire (la liaison est réalisée au niveau figural). Puis l'additivité intervient au niveau IIA, mais sans encore assurer une composition complète des correspondances pondérales et des correspondances numériques. Enfin ce n'est donc qu'au niveau IIB que la composition intermorphique entre les correspondances numériques et pondérales s'achève. La raison d'un tel écart entre la correspondance figurale et la correspondance intermorphique est alors que la composition propre à la seconde suppose une « déduction » et n'est pas une simple constatation. Piaget conclut cet examen en affirmant que la formation des compositions intermorphiques, qui ne modifient pas les données (ici pondérales et numériques), constitue « une étape supérieure dans la hiérarchie des mises en correspondances, puisque, en s'appuyant sur une nécessité déductive, [les compositions] transforment, en les perfectionnant, les instruments mêmes de comparaison » (p. 138).

d. Les généralisations et relativisations transmorphiques

Deux progrès marqueraient l'accès au troisième niveau. Le premier concerne le fléau en position d'équilibre. En cette situation les sujets recherchent immédiatement des sommes égales en poids pour les deux côtés du fléau, et comme il y a correspondance entre les nombres et les poids, il suffit d'égaliser des sommes de nombres (les sujets savent d'emblée qu'ils doivent répartir les éléments en deux collections de valeur égale). Dans le cas des deux séries de poids (les rouges et les jaunes), un sujet fera d'emblée en sorte qu'il y ait une valeur de 9 jaunes et de 11 rouges de chaque côté. Comme l'expérimentateur lui fait remarquer que les jaunes sont plus lourds, il répond immédiatement que cela ne fait rien : « ce qui compte est que vous avez la même chose de chaque côté » (p. 139). En ce qui concerne la situation où le fléau est décentré, les sujets font intervenir sans problème des valeurs proportionnelles à la place des valeurs absolues. L'un d'entre eux recherche par exemple combien de



valeurs de poids il convient de placer de chaque côté (il trouve 3 rouges d'un côté et 2 de l'autre), et généralise directement à 6 et 4, puis 8 et 12. L'intervention de la proportionnalité montre bien le rôle que joue cet « instrument opératoire de calcul » (p. 139) dans la composition transmorphique, et non pas simplement intermorphique, de morphismes. Ici Piaget est hélas à nouveau un peu imprécis. Peut-être a-t-il dans l'idée quelque chose comme la thèse selon laquelle, le calcul proportionnel engendrant des proportions (c'est-à-dire des « équivalences de rapports »), il engendrerait du même coup des morphismes et des compositions de morphismes ? Quoi qu'il en soit il n'y a en effet aucun doute que les sujets de ce niveau engendrent les solutions aux différents problèmes posés, et notamment celui impliquant les proportions (avec les correspondances qui y sont impliquées), par calcul et à partir d'une compréhension globale des systèmes opératoires impliqués dans ces situations.

Chapitre X : Correspondance et causalité (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher)

a. Introduction

Sur le plan des phénomènes physiques, deux dimensions s'ajoutent aux correspondances et morphismes précédemment considérés : la légalité et la causalité. Il n'y a plus seulement affirmation d'une correspondance entre les résultats de deux transformations [selon l'équation $y = f(x)$], mais également l'affirmation d'une relation de dépendance entre la variation de y et celle de x . De plus le sujet ne s'en tient pas au simple constat d'un tel rapport de dépendance. Il cherche à l'expliquer et recourt pour cela au processus mis en évidence dans les études sur la causalité : l'attribution, non consciente, d'un analogue de ses propres opérations aux objets physiques considérés. Il y a donc établissement d'une nouvelle correspondance entre les opérations du sujet et celles prêtées par celui-ci aux objets. Comment se construisent ces correspondances, tel est l'objet de ce chapitre.

Le problème posé aux enfants est celui de prévoir et d'expliquer indépendamment l'un de l'autre deux phénomènes physiques (l'équilibre d'une balance et la traction sur un plan incliné), puis de comparer les deux situations. Le cycle de la prévision, de la description, de l'explication et de la comparaison peut être répété plusieurs fois.

b. Les correspondances intramorphiques

Les premières correspondances portent sur des observables locaux (le poids, la grandeur, monter, descendre, etc.). Elles peuvent être ou non exactes. Un enfant affirmera par exemple que le wagon va monter parce que le poids va descendre. Comme rien ne bouge, il ajoutera qu'il faut enlever le poids dans le wagon pour que celui-ci descende.

Aucune composition n'est établie entre les différentes correspondances affirmées successivement au gré des prévisions et des constatations. Quant à l'explication, elle se réduit à évoquer l'un des termes des correspondances constatées. Enfin, en ce qui



concerne les correspondances entre les deux dispositifs, elles restent tout à fait globales (il y a des poids, cela monte des deux côtés, etc.).

c. Les étapes de l'intermorphisme

Au niveau I, lorsqu'une constatation venait démentir une prévision, cela ne causait aucun problème aux sujets qui se contentaient d'établir une nouvelle correspondance, sans ressentir de contradiction dans la mesure où ils ne cherchaient pas à établir des correspondances entre elles. Les sujets de niveau II s'efforcent au contraire de découvrir le facteur qui va leur permettre d'assurer des prévisions correctes. Mais à un premier sous-niveau, ils ne peuvent que trouver de nouvelles correspondances locales, sans réussir à les composer de manière stable et non contradictoire, ou sans pouvoir intégrer l'ensemble des constats effectués. Un enfant évoquera par exemple le fait que le wagon « n'est pas très en pente » pour expliquer qu'il faut seulement une unité de poids sur le plateau descendant verticalement pour faire monter le wagon qui, lui, en comporte trois. Mais un moment plus tard, pour six poids sur le wagon et deux sur le plateau, il soutient que si le wagon descend, c'est « parce qu'en pente ça descend plus vite » (p. 147). Bref, le sujet tâtonne pour trouver un facteur « explicatif » fiable, mais sans y parvenir.

Au niveau IIB par contre, « les compositions intermorphiques entre les correspondances spatiales et celles de poids deviennent plus stables » (p. 147), et cela dans la mesure où les sujets ont construit un concept de force synthétique, susceptible d'intégrer les différents constats ou correspondances entre observables. L'introduction de ce concept permet au sujet de comprendre que le même poids agit différemment, a plus ou moins de force, selon la place qu'il occupe sur le fléau, ou selon le degré de la pente sur laquelle se trouve le wagon¹⁰⁰.

Mais au niveau IIB le concept de force n'est évoqué que de manière globale, et le sujet ne sait pas comment composer dans le détail les différentes forces en jeu pour établir des prévisions générales. Il reste au sujet à construire un modèle causal permettant d'attribuer aux objets des opérations assurant cette prévisibilité générale et conférant par ailleurs « une nécessité interne » (p. 149) aux correspondances constatées entre, par exemple, le nombre de poids, la pente du wagon et la direction du mouvement de celui-ci.

d. Les correspondances transmorphiques

On retrouve à ce niveau ce qui a été constaté sur le plan des études sur la causalité. Celle-ci devient opératoire dans la mesure où le sujet sait par exemple « composer les forces » selon leurs directions (et attribuer une telle composition aux forces en jeu dans le dispositif). Sur le plan de la comparaison des deux situations, les sujets savent reconnaître des correspondances basées sur les explications opératoires : changer l'inclinaison de la pente sur laquelle se trouve le wagon, cela correspond à changer de trou lors d'une suspension d'un poids à l'une des branches du fléau de la balance.



Il y a à ce niveau passage au transmorphique dans la mesure où les correspondances entre observables (les légalités) sont subordonnées à un système ou modèle explicatif qui les dépasse.

e. Conclusions

Piaget revient tout d'abord sur le problème des relations entre les opérations transformatrices que l'enfant attribue au réel et les opérations de celui-ci. Il commence par remarquer que dès la lecture des observables et la découverte des covariations entre les facteurs en jeu, lecture et découverte sont conditionnées par « l'élaboration d'instruments de lecture » (p. 153) tirés des propres activités du sujet. Pour établir une correspondance entre des poids et des mouvements, tels qu'ils interviennent dans les deux situations étudiées ici, le sujet doit être capable « de classements, de mises en relations, de comparaisons plus ou moins systématiques (correspondances), de distinction des ' plus ' et des ' moins ' [...], d'organisation spatiale [...], et tout cela dépend de schèmes et de coordinateurs élaborés antérieurement par le sujet » (p. 153). De même pour constater un rapport de dépendance, il faut faire intervenir des « processus inférentiels » (id., l'auteur aurait pu être plus explicite sur ce point et évoquer par exemple les anciennes expériences d'Inhelder sur les attitudes expérimentales chez l'enfant et l'adolescent). Quant aux transformations que le sujet de niveau IIB évoque de manière globale pour expliquer les rapports de dépendance, Piaget les met en rapport avec les actions du sujet sur les objets (presser, pousser, tirer, etc.), mais aussi avec les transformations qui interviennent dans la constitution des faits expérimentaux (le réel est « arrangé », etc., par le sujet).

De manière générale, le lien entre les transformations attribuées au réel et les transformations propres à l'activité logico-mathématique du sujet semble confirmé par l'étroite correspondance qui existe entre, d'un côté, l'évolution des actions et des opérations du sujet, et de l'autre l'évolution des explications causales. A un premier niveau, les explications apparentes (mais qui ne dépassent pas les covariations constatées) tirent leur pouvoir explicatif du lien qu'elles ont avec les actions propres du sujet (« presser », « tirer », etc.). Mais il n'y a alors de nécessité que pour lui. Au niveau IIA, le rôle prêté aux distances, à la quantité d'un poids, etc., paraît en rapport avec l'acquisition des premières structures opératoires spatiales ou logico-physiques (additivité des poids). Au niveau III enfin, la notion de force apparue à une étape IIB prend sa pleine puissance explicative parce qu'elle se fonde sur des compositions causales s'apparentant par leurs formes aux compositions logico-mathématiques envahissant tout le champ de la pensée enfantine avec l'achèvement de la construction des opérations concrètes. A ce niveau III se confirme cette affirmation de Leibniz, citée par Piaget, selon laquelle : « la cause dans les choses répond à la raison dans les vérités » (p. 154), toutes deux constituant « des systèmes de transformations coordonnant la production de nouveautés avec la conservation d'invariants » matériels ou mentaux (id.).

La correspondance entre causalité et « productions déductibles du sujet » ne devient certes pleinement consciente qu'avec la construction des modèles mathématiques sur le plan de la pensée scientifique. Mais le « fait fondamental » (p. 154) qui explique cette étroite correspondance entre les deux évolutions est « la continuité reliant les manipulations expérimentales (au moyen desquelles [le sujet] organise les faits) à la



forme déductive finale que prennent ces démarches initiales devenues opératoires par les progrès même de la composition des actions ». L'auteur veut-il répéter une nouvelle fois dans ce contexte la thèse selon laquelle l'action par laquelle le sujet organise et agit sur le réel est, en son point de départ, indissociablement logique et physique, ou a-t-il en vue le constat qu'à tous les niveaux l'action expérimentale du



sujet sur le réel dépend de ses compétences logico-mathématiques ? Quoi qu'il en soit, ce chapitre nous laisse un peu sur notre faim en ce qui concerne le problème central de cet ouvrage, le rapport entre la construction des opérations d'un côté, des formes de comparaison de l'autre.

Chapitre XI : L'équilibre des moments en un système de disques coaxiaux (avec F. Kübli)

a. Introduction

Cinq disques de grandeur croissante (rayons de 2, 4, 6, 8 et 10 cm) sont fixés sur un axe. Cinq poids (de 50, 100, 150, 200 et 250 g) sont donnés au sujet qui a alors pour tâche de les fixer sur au moins deux disques différents de telle manière que le système reste en équilibre (la loi assurant l'équilibre est celle de l'égalité de la somme des produits des poids et des rayons de chaque disque).

On sait que les jeunes enfants ont tendance à vouloir utiliser de manière très générale les schèmes additifs pour résoudre des problèmes d'équilibre. Cette recherche devrait dès lors permettre d'étudier comment les sujets passent des compositions additives aux multiplicatives. Piaget se demande en particulier si le passage de la correspondance (poids plus petit sur un disque plus grand = poids plus grand sur un disque plus petit) au concept de produit constant ne résulte pas d'un processus d'abstraction réfléchissante.

b. Le niveau I : correspondances intramorphiques

Le problème étant très complexe, les correspondances intramorphiques sont observées jusque chez des sujets de 9 ans ! Les sujets de ce niveau commencent par assimiler le dispositif à une balance, en ne tenant pas compte de la grandeur des disques (un sujet de 9 ans H mettra par exemple les poids 3 à la place 3 d'un côté, et les poids 2 et 1 aux places 4 et 5 de l'autre côté). Face à l'échec de leurs prévisions, ils cherchent un facteur supplémentaire qui compléterait l'action des poids, mais aucune de leurs



suppositions « ne conduit à une composition de type intermorphique » (p. 158). Un sujet fait par exemple l'hypothèse que la hauteur des poids (la distance par rapport au sol) joue un rôle, mais il ne l'utilise que partiellement pour suspendre les différents poids (4 sur 5 et 5 sur 4, puis 3 sur 2 et 2 sur 3, ce qui dans les deux cas donne l'équilibre), puis il change de critère sans voir qu'il tenait là un bout de la solution. Ces réactions, qui s'apparentent à celles d'enfant de 5-6 ans pour des situations plus simples, découlent de ce que ces sujets sont complètement désorientés face au fait que le poids à lui seul ne suffit pas à résoudre le problème et qu'ils ne parviennent pas à mettre le doigt sur les facteurs appropriés. Ils ne peuvent que s'en tenir « aux observables et aux abstractions empiriques propres à l'intramorphique » (p. 158).

c. Les correspondances intermorphiques

Comme les sujets du niveau précédent, ceux de ce niveau (plus de 11 ans, avec un enfant de 9 ans) découvrent que l'effet du poids change si on le rapproche ou le déplace de l'axe, ou si on le place sur un disque plus ou moins grand, ou s'il est fixé plus ou moins haut (avec une ficelle plus ou moins longue), etc. Mais chez eux cette découverte n'est plus considérée comme une perturbation, dont ils ne savent que faire, par rapport à une croyance initiale non remise en question. Ils tentent au contraire de trouver le moyen de compenser l'effet observé et effectuent dès lors de nouvelles observations ou abstractions empiriques. Ces dernières sont de plus subordonnées à « une abstraction réfléchissante qui les dirige en coordonnant les transformations [des facteurs par le sujet] pour en tirer une conservation » assurant l'équilibre (p. 161).

Chez certains enfants, les solutions recherchées en restent à des schèmes de compensation additive (un sujet estimera par exemple que « pour chaque unité de déplacement [le long de l'axe] il faut ajouter une unité de poids », p. 160). C'est le cas aussi lorsque la suspension d'un poids de 1 en position 4 est équilibrée au moyen d'un poids de 2 suspendu en position 2 (le doublement non incorporé dans un schème général de multiplication est alors simplement assimilé à une double addition : « 2 fois n » est assimilé à « n + n »).

D'autres sujets plus avancés en arrivent par contre à la notion d'une compensation multiplicative, mais qui reste alors qualitative (si on déplace un poids sur un disque plus grand, il faut compenser l'effet du disque plus grand par un poids plus petit) pour conserver le rapport poids sur longueur du disque. Mais ces sujets ne parviennent pas à réaliser les calculs multiplicatifs qui traduiraient cette compréhension qualitative des rapports. Ils continuent à utiliser des procédés additifs pour équilibrer le rapport (comme ce sujet qui met 3/5 pour compenser 4/4, se fiant au fait que $3 + 5 = 4 + 4$). Après constat qu'une solution additive ne permet généralement pas d'atteindre l'équilibre, l'un d'entre eux parviendra à considérer l'idée que « le produit entre le nombre du disque et le poids doit être le même sur les deux côtés » (p. 161) et donc à accéder au troisième niveau.

¹⁰⁰ Notons au passage la réponse d'un enfant qui, après avoir dit que la puissance d'un poids peut changer, répond que la puissance « c'est le poids du poids », lorsque l'expérimentateur lui demande de préciser son affirmation (p. 148).



Ce qui permettra à ces sujets d'aller au-delà du simple constat de l'échec de leurs solutions additives semble donc être le rôle qu'ils accordent alors à l'interaction des facteurs en présence (le poids et le rayon du disque). L'addition ne traduit pas ce qui se passe dans une interaction et c'est la raison pour laquelle ils en viendront finalement à considérer l'action multiplicative d'un des termes sur l'autre et réciproquement.

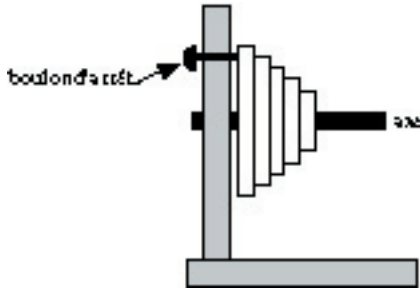
d. Les correspondances transmorphiques

Après parfois quelques tâtonnements (ou, dans un cas, après une question posée à l'expérimentateur) leur permettant de vérifier une hypothèse ou de trouver une information jugée utile (par exemple placer le poids 1 sur le premier disque, puis sur le deuxième, pour voir si le rapport entre le changement de poids et le changement de distance doit être directement ou inversement proportionnel), les sujets de ce niveau en arrivent très vite à trouver la solution consistant à équilibrer le placement d'un poids au moyen du placement d'un second poids sur un autre disque. Ils peuvent aussi décrire la méthode générale de résolution dans des termes plus ou moins clairs. Ainsi un sujet de 14 ans H répondra-t-il à l'expérimentateur qui l'interroge sur sa méthode par la formule suivante : « Pour compenser un poids de plusieurs unités sur un disque supérieur au disque 1, il faut ajouter au disque 1 un poids supplémentaire égal au produit de ce poids et du nombre de déplacements qui seraient nécessaires pour descendre le poids au disque 1 » (p. 164).

La fin de ce chapitre est consacrée à un début de formalisation des commutabilités et des vicariances qui interviennent dans la solution des sujets de ce niveau. La commutabilité concerne le déplacement d'un poids vers un nouveau disque, la vicariance le choix d'un autre poids et d'un autre disque de départ, ce nouveau disque pouvant lui aussi être déplacé et faire intervenir la commutabilité (que l'on pourrait résumer par la formule « ce qui est perdu au départ est regagné à l'arrivée »). Mais à la différence de ce qui se passe lors d'un simple déplacement avec commutabilité additive, lorsqu'un poids est déplacé, il faut tenir compte de l'augmentation ou de la diminution de son action. La façon dont les sujets organisent leurs actions en tenant compte de ces différents points (commutabilité, vicariance et variation des effets) implique que les compositions en jeu « se situent à un niveau transmorphique en tant que subordonnées à un système d'ensemble de calculs [déplacement, addition, multiplication ?] et que donnant lieu à des combinaisons à la fois libres en leurs choix [le sujet décide de déplacer tel élément en telle ou telle position, ou de prendre un poids plus élevé] et nécessaires en leurs résultats [une fois le choix fait, tout se déduit par calcul] » (p. 165). Et l'auteur ajoute alors cette affirmation qui éclaire un peu la façon dont les morphismes se rattachent aux transformations opératoires : « les morphismes sont [alors] l'expression de transformations opératoires, dont [les sujets] se bornent à dégager les relations d'équivalence qui en résultent, mais sans engendrer leurs constructions ni leur efficacité novatrice » (id.).

Enfin, le dernier paragraphe ébauche une application de la théorie mathématique des catégories à la modélisation des mises en relations entre sous-systèmes du système de l'équilibre des moments (dans le dispositif considéré), sous-systèmes qui seraient eux-mêmes des catégories. Malheureusement, Piaget ne développe pas suffisamment sa pensée pour un public de non-mathématiciens, et il n'est pas dit que les mathématiciens eux-mêmes puissent se reconnaître dans cette esquisse (malgré la référence

faite une nouvelle fois au logicien Wittman). On aurait ainsi, au terme de l'évolution retracée, une première catégorie ou un système d'ensemble composé de trois sous-systèmes. Le premier est formé des augmentations par unité des poids, et des déplacements par unité des mêmes poids. Le deuxième sous-système est composé des transitions possibles « dans les états S donnés » (p. 165), ces transitions permettant au niveau III l'accès à l'équilibre (le premier système serait un sous-ensemble de ces transitions). Enfin, le troisième a pour éléments les transitions inverses des précédentes, ces transitions inverses étant elles-mêmes engendrables à partir des augmentations de poids et des déplacements par unité. A côté de ce premier système d'ensemble, on aurait également le système des effets : rotation à gauche de l'axe, rotation à droite et équilibre. Enfin, dans la mesure où chaque transition dans la première catégorie « détermine une flèche dans le second système, qui constitue



[lui aussi] de ce fait une deuxième catégorie relative aux résultats » (id.), les relations entre les deux catégories pourraient être considérées « comme une sorte de foncteur élémentaire » (p. 165).

Indépendamment de sa validité, cette esquisse de modélisation offre l'intérêt de montrer que le mouvement accompli (mais sur un fond beaucoup mieux maîtrisé) pour les structures opératoires à la fin des années 40 se retrouve en partie dans le contexte de ces formes encore plus générales que sont les catégories.

Chapitre XII : Comparaison de deux machines et de leurs régulateurs (avec A. Blanchet et E. Ackermann-Valladao)

a. Introduction

Le premier dispositif consiste dans ce jeu bien connu d'un bonhomme qui, posé sur une échelle, dégringole un à un les échelons de celle-ci en faisant à chaque fois un demi-tour sur lui-même et en venant s'encaster en eux. Le second s'apparente à une pièce d'horlogerie. Entraîné par un élastique, le mouvement d'une roue dentée est régulé par un système d'ancre greffé à un balancier. La rotation de la roue est freinée par les deux extrémités de l'ancre fixée au balancier, qui viennent à tour de rôle s'encaster dans les dents de la roue, le mouvement de celle-ci provoquant en retour le déplacement de l'ancre et donc celui du balancier.

Les expérimentateurs font aussi parfois intervenir un autre jeu bien connu des enfants : un bonhomme dont la chute est ralentie par des clous placés en zigzag sur une planche et sur lesquels les bras écartés du bonhomme viennent tour à tour se reposer (il y a donc ressemblance avec les deux autres dispositifs, le mouvement de balancement rappelant par exemple le mouvement de l'ancre de « l'horloge »). Outre l'étude des évolutions des correspondances dans chaque dispositif, les enfants devront comparer ce qu'il y a de commun et de différent dans les machines.



b. Les correspondances initiales

Vers 5-6 ans les enfants élaborent deux sortes de correspondances. Le premier est un « prémorphisme de répétition », dans la mesure où les enfants reconnaissent aisément l'enchaînement répétitif des actions dans chaque dispositif (par exemple pour le premier, le bonhomme « rentre chaque fois dans le prochain [échelon] », p. 171). Ces correspondances de répétition sont utilisées dans les comparaisons entre les machines. Quant aux secondes, il s'agit de correspondances particulières établies par les enfants au gré de leurs observations (par exemple un enfant qui affirme que l'ancre « tape sur ces petites choses [dents] et en tapant ça fait bouger », id.). L'examen de ces correspondances montre que les sujets ne considèrent jamais les actions en jeu comme freinant le mouvement (les échelons servent par exemple à « tenir » le bonhomme, mais sans pour autant que cela ralentisse sa chute).

A ce niveau les correspondances restent intramorphiques, les correspondances établies entre les dispositifs demeurant toujours globales (« ça tourne », « ça fait du bruit », etc.), et aucune correspondance détaillée n'étant faite entre les divers mouvements internes à un dispositif.

c. Les correspondances intermorphiques

Les enfants de ce niveau parviennent à distinguer les deux sortes d'actions en jeu : les actions causales directes et celles de freinage. Celui-ci est toutefois distingué plus tardivement dans le cas du bonhomme que dans celui de la roue, dans la mesure où il est alors réalisé avec les mêmes éléments que l'action directe (le bonhomme participe à sa propre action de freinage en venant s'encastrent sur les échelons). Au niveau IIA, la comparaison des dispositifs n'amène donc aucune correspondance autre que globale. Par contre il y a dès IIA un début d'intermorphisme dans les réponses portant sur le dispositif de la roue : le sujet distingue et met en correspondance les deux séries des actions directes et des freinages (et peut donc admettre que si la roue ne tourne pas plus vite, c'est que l'ancre la retient).

Au niveau IIB (9-10 ans environ) par contre, les enfants admettent aussi que le bonhomme est ralenti dans sa chute par les échelons sur lesquels il tombe successivement. Dès lors les comparaisons entre les dispositifs ne se cantonnent plus à des traits globaux (« ça bouge », « ça tourne », etc.), mais mettent le doigt sur le fait que dans les deux cas il y a des mouvements de chute ou de rotation et des actions de freinage de ces mouvements. Les sujets ne considèrent pas encore ce qui se passe précisément avec les vitesses en jeu dans chaque dispositif. Pour atteindre le niveau transmorphique, en d'autres termes pour pouvoir prendre appui sur un système d'ensemble, il leur faudra « mieux dissocier le détail des actions de freinage et de marche en avant » (p. 176), dissociation rendue compliquée par l'intervention de plusieurs pièces dont les mouvements s'imbriquent les uns dans les autres, mais aussi mieux comprendre les processus d'accélération et de freinage des vitesses.



d. Comparaison intermachine de niveau transmorphique

Les sujets de ce niveau considèrent explicitement le freinage comme une modification de vitesse. Un sujet dira par exemple que « l'ancre sert à ce que ce soit toujours la même vitesse, que [la rotation de la roue] dure plus longtemps » (p. 177). De même pour la comparaison des dispositifs, ces sujets voient que l'ancre ralentit la roue comme les échelons ralentissent la chute du bonhomme. Ce qui assure leur compréhension de chaque dispositif comme de la similitude des machines, c'est « une coordination plus ou moins poussée entre les deux systèmes, moteur et régulateur, et un produit général engendré par leur composition : la constance des vitesses globales du bonhomme et de la roue » (p. 178).

e. Conclusions

Les conclusions traitent du rôle des correspondances « intramachines » et des comparaisons « intermachines » dans la progression des solutions depuis le premier niveau jusqu'au troisième. Au premier niveau, seules les « correspondances par répétition » se répercutent sur les comparaisons entre les machines. Au niveau IIA, les correspondances intermorphiques découvertes sur le plan du système « roue-ancre » n'ont pas de correspondant sur le plan du dispositif « bonhomme-échelle ». Par conséquent les correspondances entre machines restent à un niveau global. Au niveau IIB, où l'intermorphisme « action directe-freinage » est découvert pour les deux sortes de dispositifs, quelques sujets, mais pas tous, parviennent à établir une correspondance entre les correspondances intermorphiques des deux machines, mais sans une explication détaillée du mécanisme commun. Les résultats de la comparaison entre les machines permettent par ailleurs à certains enfants d'améliorer leur analyse de ce qui se passe au sein d'une machine particulière. Enfin, au niveau III, « les comparaisons intermachines sont de degré constamment supérieur à celui des correspondances internes et cela du fait que ce sont ces comparaisons qui conduisent à la découverte (et même chez certains [...] à la démonstration) de l'invariance des vitesses globales » (p. 180). Dans la mesure où 1. un système transmorphique guide les analyses et les mises en relation de chacun des dispositifs, 2. chaque dispositif avec les actions de causalité et de régulation qui le concernent constitue une « catégorie spéciale », et 3. des correspondances (« foncteurs ») relient les deux machines, la comparaison entre celles-ci aboutit lors de ce troisième niveau à une « catégorie plus générale caractérisée par la propriété commune d'une compensation entre les petites accélérations locales et les freinages, donc la composition dont le produit est une vitesse globalement constante » (p. 180).

L'auteur avance deux raisons qui permettent, selon lui, de considérer comme des catégories les situations du bonhomme et de la roue telles que les conçoivent les sujets du troisième niveau. D'abord ceux-ci établissent trois morphismes, l'un portant sur les accélérations successives dans chaque dispositif, un autre sur les freinages également successifs, enfin un dernier sur l'alternance accélération-freinage, qui est une composition des deux premiers. Ensuite, le sujet doit retrouver le « programme » inscrit dans la conception des machines par leurs fabricants, ici les expérimentateurs, et qui font des actions de freinage des régulations.

Enfin, Piaget note que cette recherche met en évidence une forme particulière de lien entre morphisme et transformation, basée sur des correspondances non pas seu-



lement inter- ou cotransformationnelles, mais aussi « protransformationnelles », « puisqu'elles précèdent les transformations sans les engendrer à proprement parler ». Ces dernières correspondances reviennent en effet à « préciser les conditions de l'effectuation [d'un] programme » (p. 181)¹⁰¹.

Chapitre XIII : Morphismes et transformations dans la construction d'invariants (par G. Henriques)

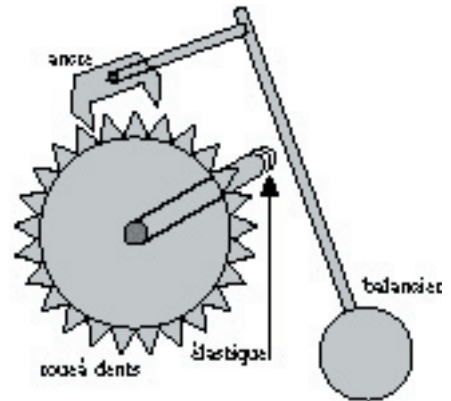
a. Introduction

L'auteur commence par souligner la place de la théorie des catégories dans l'histoire des mathématiques : elle prolonge le grand mouvement réflexif qui a caractérisé « le mouvement structuraliste en mathématique » (p. 184), dans lequel apparaissent déjà les « catégories instrumentales » ou les « instruments de transferts » ou de comparaisons de formes (id.) dont cette théorie a fourni la prise de conscience et la thématisation. Il souligne aussi que, comme pour les structures, ces catégories instrumentales trouvent des antécédents dans la psychogenèse de l'intelligence, antécédents pour lesquels il propose d'utiliser la notion de « précatégorie ».

Ce chapitre portera essentiellement sur l'examen des rapports entre ces précatégories et la construction d'invariants de remplacement et de transformation (les premiers étant attachés aux précatégories et catégories, comme les seconds le sont aux structures). Une première partie aura pour objet la clarification de ces notions, après quoi l'auteur traitera la question du développement des structures et des catégories dans leur rapport avec ces deux familles d'invariants.

b. Les invariants de remplacement et les précatégories

Henriques rattache la notion d'invariant de remplacement à celle de schème. Dans la mesure où un même schème assimile des objets variés, ces derniers, qui forment l'extension du schème, peuvent être considérés comme des « invariants de remplacement ». Liés au fonctionnement de tout schème, ils sont ainsi bien plus précoces que les invariants de transformation qui, eux, dépendent de la coordination d'actions ou d'opérations. Une mise en correspondance entre objets étant ainsi réalisée par un schème sans que le sujet n'en soit le point de départ, l'auteur voit dans cette « assimilation interobjectale » (p. 186) le point de départ psychogénétique « des formes et des morphismes » (id.). Le transfert du « schème » d'une action (prémorphisme) et des indices (« objet informé », « pattern ») grâce auxquels des objets apparaissent comme des « invariants de remplacement » est le correspondant sur le plan sensori-moteur des morphismes et des transferts de





formes sur le plan de la pensée. Etant entendu qu'« il ne saurait y avoir de morphismes sans forme qu'ils transfèrent et de forme sans morphisme qui la transfèrent » (p. 187), les formes sont alors considérées comme des invariants de remplacement et les morphismes comme des instruments de transferts.

Les morphismes seraient toujours impliqués dans une activité de thématization, sans être forcément conscients. Par contre, dès qu'il y a thématization de morphisme, il y a du même coup thématization de la forme transférée par le morphisme. Plusieurs morphismes peuvent s'appliquer à une même forme, l'unité de cette forme découlant des contraintes internes de composition propres au système formé par les morphismes en jeu. Dans la mesure où ces systèmes ne sont pas fermés, c'est-à-dire où de nouveaux morphismes peuvent venir compléter ceux considérés jusqu'alors par le sujet, ou bien encore de nouvelles possibilités de composition apparaître, les systèmes en question doivent être considérés comme des précatégories. Le développement de nouveaux morphismes, et plus particulièrement de nouvelles compositions de morphismes productrices de nouveaux morphismes, serait l'effet de « raisons qui poussent le sujet à composer ces morphismes » (p. 188).

Enfin Henriques, comme Piaget précédemment, souligne le caractère faiblement différenciateur de la multiplicité des précatégories construites par les sujets lors de la psychogenèse : « toutes les précatégories se ressemblent. Elles ne comportent qu'une associativité progressivement construite et soumise à des conditions de contiguïté qui restreignent les possibilités de composition » (p. 189). Ce constat permettrait de définir « l'organisation invariante de toutes les précatégories, autrement dit la forme de précatégorie en général » (id.).

c. Les invariants de transformation et les structures

L'auteur reprend sur le terrain des structures de transformation et des invariants qui les caractérisent le genre d'examen auquel il vient de se livrer pour les morphismes et les invariants de remplacements. Il observe que, comme pour ceux-ci, les premiers trouvent leur racine dans l'action sensori-motrice. Il note pourtant des différences importantes. Alors que les invariants de remplacement sont soumis à peu de contraintes, « seul un jeu de compensations complexes » donne accès aux invariants opératoires (p. 192 ; notons pourtant que des invariants de transformations élémentaires apparaissent dès le sensori-moteur, les constances perceptives ou l'objet permanent en fournissant des exemples). Les structures de transformation sont atteintes lorsque les systèmes qu'elles forment comportent en leur sein des « transformations identiques »¹⁰². Henriques appelle « préstructures » les systèmes plus primitifs et moins stables de transformation construits par les sujets.

d. Structures générales et catégories

Après avoir considéré les systèmes de transferts de formes et les systèmes de transformation qui apparaissent sur le plan de la psychogenèse, et après avoir souligné que sur ce plan, comme le montrent les recherches exposées dans *Morphismes et catégories*, il existe des apports mutuels dans leur développement respectif, Henriques examine ce que deviennent les « deux types généraux d'invariants » (p. 195) sur le



plan de la science mathématique. Cet examen est conduit en relation avec le passage des structures « opératoires » aux structures générales (« bourbakistes »), ainsi que le passage des « précatégories » aux catégories. Henriques annonce d'emblée deux faits épistémologiques remarquables. Premièrement, la construction de la théorie des structures générales est largement caractérisée par la construction d'invariants de remplacements portant sur les structures (qui sont avant tout des instruments de transformation). Deuxièmement, la construction de la théorie des catégories repose tout aussi largement sur l'utilisation et la construction d'instruments de transformation, dans un domaine où c'est pourtant avant tout d'invariants de remplacement et de comparaison dont il s'agit (la théorie des catégories se révélerait être ainsi une synthèse des activités de transformation et de comparaison, dans la mesure où elle apporterait des instruments pour transformer les instruments de comparaison).

Les formes de structure

La raison pour laquelle la théorie générale des structures aboutit à la construction d'invariants de remplacement et non pas d'invariants de transformation réside dans le fait que ses objets sont des formes de structure plutôt que des structures. Certes cette théorie part de l'étude des structures de transformation construites dans les diverses branches de la mathématique (les groupes de transformation en géométrie, les groupes, les anneaux et autres structures en algèbre, etc.), mais c'est pour comparer ces structures et aboutir ainsi à des structures générales qui seraient essentiellement les formes communes des structures comparées. Etant d'essence principalement comparative, il n'est nullement étonnant que cette théorie générale construite des invariants de remplacement qui sont certes d'un très haut niveau d'abstraction.

Henriques observe par ailleurs que la théorie mathématique des structures est le lieu d'origine du concept de morphisme, celui-ci portant alors exclusivement sur la communauté des formes de structures mises en rapport. C'est seulement plus tard que ce concept s'est généralisé, grâce au développement de la théorie des catégories. Pour celle-ci, les morphismes se définissent exclusivement par leurs lois de composition et non plus, ne serait-ce que partiellement, par la nature des objets qu'ils relient.

La généralisation de la notion de morphisme est intéressante pour la psychologie génétique puisqu'elle permet d'utiliser ce concept pour « caractériser certains instruments cognitifs en jeu dès les niveaux les plus élémentaires de la psychogenèse » (p. 198). Cette exploitation possible d'une notion mathématique très abstraite apporte d'ailleurs une nouvelle confirmation de cet ancien constat de l'épistémologie génétique, selon lequel les objets les plus généraux de la mathématique théorique (et les plus récemment découverts) ne sont pas sans rapport avec certaines propriétés logico-mathématiques de l'intelligence représentative, de l'intelligence sensori-motrice, et même des formes générales de l'organisation biologique.

En ce qui concerne les morphismes de structure observés sur le plan de la psychogenèse, l'auteur note qu'ils tendent à « constituer des synthèses plus ou moins intimes » des transformations internes aux structures. Selon que les transformations en jeu relient des états initiaux à des états finaux réalisés, ou selon au contraire que les transformations en restent à l'état de projet, les comparaisons entre structures aboutiraient soit à des morphismes « cotransformationnels », soit à des morphismes « protransformationnels ». L'intérêt de ces derniers est qu'ils pourraient être utilisés



comme « des remplaçants des transformations : le sujet se contente alors d'envisager le projet sans se soucier de sa réalisation effective » (p. 199)¹⁰⁵. De manière tout à fait générale Henriques observe que le lien entre morphismes de structure et transformations peut avoir un double effet constructif : la thématization des morphismes de structure peut déboucher sur des transformations inédites de ces structures, comme de telles transformations peuvent conduire à de nouveaux morphismes de structure. Il ajoute qu'en certains chapitres de la mathématique on assisterait à des interactions quasi indissociables (des « fusions » entre l'apport des activités de transformations de structure et celui des comparaisons de structures).

Les structures catégorielles

Pour l'auteur, « les catégories sont essentiellement des ensembles de morphismes organisés en des systèmes opératoires » (p. 199). Sur le plan de la psychogenèse, il conviendrait de distinguer en plus de celles-ci des « précatégories » (p. 200), dans lesquelles la composition des morphismes resterait tout à fait rudimentaire. Faut-il voir ici un lien avec ce qui est caractérisé comme niveau « intermorphique » dans les chapitres précédents ? C'est ce que suggère le constat de « différences psychologiques profondes entre les conduites basées sur des précatégories, avec leurs morphismes relativement mal coordonnés entre eux, et celles qui mettent en jeu des catégories » (id.), et qui, selon toute vraisemblance, correspondent à ce qui est rapporté à propos des réponses de niveau III dans les différentes recherches.

Comment le sujet passe-t-il des précatégories aux catégories ? Une hypothèse peut être apportée ici par l'examen de l'histoire récente des mathématiques : « le sujet [opérerait] sur les morphismes en y transférant des opérations initialement construites sur le plan de leurs termes » (p. 200), ce transfert s'accompagnant de généralisation. Henriques donne deux exemples, l'un concernant la théorie des fonctions numériques, l'autre celui de l'anneau des endomorphismes. Dans le premier on observe la construction d'opérations agissant non plus sur les nombres, mais sur les fonctions (qui sont des correspondances cotransformationnelles reliant des ensembles de nombres). Un calcul des fonctions numériques vient compléter le calcul numérique. Quant au second exemple, le groupe additif caractéristique des nombres entiers constitue l'un des points de départ possible de la construction de la catégorie des groupes additifs, catégorie qui, elle, comporte des opérations de composition de morphismes

¹⁰¹ Il est intéressant de constater que, pour Piaget, les machines utilisées dans cette recherche sont de type cybernétique, dans la mesure où elles réalisent un programme et où elles comportent un mécanisme de freinage. En un sens l'auteur a raison : toute machine créée par l'homme réalisant un programme d'actions qui lui permet d'atteindre une fin peut être vue comme une machine cybernétique, d'autant plus si elle comporte un mécanisme de régulation rendant constant un de ses effets. Même si le freinage réalisé par des dispositifs mécaniques ne résulte pas d'une « boucle autocorrectrice », on a affaire à une organisation des relations de causalité qui permet d'atteindre l'objectif souhaité (pour une montre par exemple, garder un mouvement constant permettant la mesure du temps). Mais alors, y a-t-il des machines qui ne soient pas cybernétiques ? Ou bien au contraire, pour être reconnue comme telle, une machine ne doit-elle pas comporter un mécanisme régulateur faisant nécessairement intervenir une telle boucle ? Si c'est la notion de programme qui constitue l'essentiel de la définition, alors en un sens c'est bien toute machine qui est cybernétique. On voit donc que l'on dispose de trois critères différentiels pour la définition d'une telle machine : le programme, la régulation en général, la régulation par rétroaction.



obéissant non plus seulement aux lois de composition d'un groupe additif, mais aux lois plus riches d'une structure d'anneau.

L'auteur termine cette section en soulignant la grande fécondité de l'approche catégorielle, le foisonnement de catégories auxquelles elle a donné naissance, ainsi que l'abstraction et la généralité croissante de ces nouveaux êtres mathématiques, mais une généralité qui récupère au sein des nouveaux objets les propriétés formelles et transformationnelles des anciens objets, dont le contenu perd alors son importance relative au sein de l'édifice des mathématiques. Cela le conduit à examiner dans une ultime section les développements actuels de la théorie des catégories.

De cette dernière section sur « La thématization des catégories », nous ne retiendrons que l'affirmation soulignant le caractère profondément réflexif de la démarche catégorielle, et dans laquelle de nouvelles « catégories constituantes », non encore thématisées, servent d'instruments de thématization des formes de structures catégorielles déjà construites, catégories constituantes qui deviendront ultérieurement et à leur tour les objets de nouvelles thématizations constitutives de nouvelles catégories « constituées » (pour résumer très schématiquement cette section, nous utilisons le couple « constituant-constitué » que le philosophe français Lalande avait utilisé dans la première moitié du XX^e siècle pour décrire les progrès de la raison). Plus que tout autre branche de la mathématique, la « thématization des catégories » illustre ainsi le « dynamisme [d'une] construction mathématique, toujours en train de mettre à jour, sous forme analytique, les conditions de son propre fonctionnement opératoire » (p. 208).

Chapitre XIV : Théorie des catégories et épistémologie génétique (par E. Ascher)

Ce chapitre résume certains aspects de la théorie mathématique des catégories en s'attachant avant tout à mettre en évidence sa dimension constructiviste. En tant que « théorie des constructions mathématiques », elle serait un « bel exemple d'abstraction réfléchissante » (p. 210).

A titre d'exemple, Ascher considère la construction du produit de deux ensembles, avec les deux morphismes qu'on peut lui associer (qui vont du produit vers chacun des deux ensembles d'éléments qui servent à le construire). Il montre comment on tire de cette construction un schème, une catégorie, qui peut être généralisé à d'autres situations (notons cependant qu'il est difficile de suivre dans le détail l'illustration fournie par l'auteur, dans la mesure où les schémas proposés sont insuffisamment commentés, ou comportent des erreurs typographiques). Cette catégorie s'applique en particulier aux produits de deux catégories, ce qui montre l'universalité de cette construction (qui initialement était la construction du produit de deux ensembles). Cet exemple montre ainsi à nouveau le caractère profondément réflexif de l'approche catégorielle, déjà souligné dans le chapitre précédent.

La démarche catégorielle se caractériserait par trois traits de globalisation, d'abstraction et de réification. La globalisation revient à mettre entre parenthèses les élé-



ments des actions pour ne considérer que ces dernières. L'abstraction laisse de côté certains aspects des actions pour ne considérer que la façon dont elles se composent ensemble (ou les flèches qui expriment leurs liens). Enfin la réification revient à transformer en choses ces actions. Cette triple caractérisation fait de la théorie des catégories le stade le plus abstrait des mathématiques, ou même le « stade des opérations abstraites » (p. 214).

Enfin, Ascher illustre par un autre exemple, celui de la « catégorie des machines » (p. 216) l'usage que l'on peut faire de l'approche catégorielle dans des domaines autres que la mathématique « pure ». La théorie des catégories devient ainsi un outil très utile pour toutes les branches, appliquées aussi bien que pures, des mathématiques. La démarche catégorielle est utile parce qu'elle permet « de mettre en évidence ce que l'on fait, sans détail superflu » (id.). Ascher croit pertinente son application au domaine de l'épistémologie génétique, dans la mesure où elle « reflète la constitution génétique des outils cognitifs de l'homme : le détachement des schèmes transférables d'un ensemble d'actions, puis des opérations semblables sur ces schèmes, puis sur des schèmes de schèmes et ainsi de suite » (p. 217). Cependant Ascher termine en rappelant qu'il existe d'autres instruments de modélisation également utiles, notamment la logique et la théorie des systèmes dynamiques.

Conclusions générales

Dans ses conclusions générales, Piaget aborde successivement cinq points : 1. la mise en rapport de la question des relations entre correspondances et transformations avec le problème central de l'épistémologie génétique, 2. la question des rapports entre les transformations morphismiques et les transformations opératoires, 3. la raison des solidarités que manifestent morphismes et structures opératoires au niveau supérieur du développement cognitif, 4. la raison du retard de la théorie des catégories par rapport à la découverte des structures mathématiques, et enfin 5. la question de l'existence ou non de catégories dans le développement de la pensée naturelle. Avant de résumer ces cinq points, soulignons la nouvelle illustration du talent synthétique et systématique de l'auteur qui, en quelque douze pages, parvient à tirer de l'ensemble des chapitres précédents une conception originale, englobant aussi bien les découvertes psychogénétiques que les constructions théoriques relevant de la mathématique et de son épistémologie.

Le problème épistémologique des rapports entre correspondances

¹⁰² Ces considérations d'Henriques sont directement basées sur les travaux classiques sur la genèse des structures opératoires. Elles devraient paraître familières à tout lecteur qui connaît cette partie classique de la psychologie et de l'épistémologie génétiques.



et transformations

La question des rapports entre correspondances et transformations n'est pas sans évoquer le problème central de l'épistémologie, à savoir le rôle à accorder au sujet ou à l'objet comme source des connaissances logico-mathématiques. Des solutions platoniciennes ou, à l'inverse, empiristes de ce problème tendront naturellement à privilégier le rôle des morphismes et plus généralement des correspondances dans la constitution interne de la réalité mathématique, les transformations ne consistant tout au plus, comme l'affirmait le courant logiciste en philosophie des mathématiques, qu'en une psychologisation ou une « anthropomorphisation » superflue de cette réalité. Par contre le constructivisme interactionniste tendra à privilégier une conception dialectique des apports des correspondances et des transformations. Or les faits psychogénétiques aussi bien qu'historiques recueillis et examinés dans les précédents chapitres, ainsi que dans l'ouvrage sur les correspondances, tendent à confirmer la thèse constructiviste, tout en insistant plus que par le passé sur l'appui que le sujet peut trouver dans des formes constituées.

Les recherches sur les correspondances ont ainsi montré comment les poids respectifs des correspondances et des transformations changent au cours de la psychogenèse, les transformations prenant de plus en plus d'importance jusqu'à encadrer des correspondances se confondant en leur point de départ avec les résultats empiriques des lectures de l'expérience. Les recherches sur les morphismes et les catégories révèlent un « renversement [encore] plus spectaculaire » (p. 220) lors du passage au niveau transmorphique. Les compositions intermorphiques, qui au départ forment un substrat pouvant aider la construction de « systèmes opératoires d'ensemble » (id.), ne sont dès lors plus qu'un reflet concret du sous-ensemble de l'ensemble des compositions entre morphismes qui peuvent être déduites du système d'ensemble opérant sur les morphismes.

Transformations opératoires et transformations morphismiques

Les recherches ayant mis en évidence le rôle des transformations au niveau transmorphique, Piaget reprend le problème des rapports entre celles-ci et les transformations opératoires (lors desquelles le sujet agit sur des objets concrets ou propositionnels pour les transformer). Il rappelle tout d'abord comment, au niveau

¹⁰³ Cette remarque selon laquelle le sujet pourrait se contenter d'utiliser un morphisme « protransformationnel » sans réaliser la transformation en jeu offre un indice supplémentaire précieux sur ce qu'apporte l'attention portée aux comparaisons et non plus seulement aux transformations dans l'étude psychogénétique de l'intelligence. Le sujet pourrait ne pas forcément opérer sur elle lorsqu'il pense une réalité numérique ou spatiale (il peut ne pas additionner des nombres ou ne pas déplacer en pensée un objet). La considération d'un morphisme, comme d'ailleurs la composition de morphismes de transformation, pourrait lui permettre d'anticiper un résultat alors même que ce résultat n'est pas le produit de transformations réelles. Bref, l'activité intellectuelle n'est plus seulement transformationnelle, exception faite des opérations de pensée engagées dans l'activité comparative (et dont la modélisation utiliserait certaines notions ou démarches de la théorie des catégories).

intermorphique, des transformations opératoires peuvent être elles-mêmes l'objet de mises en correspondance, aux côtés des états auxquelles elles conduisent. Ces formes peuvent se retrouver sur le plan supérieur des correspondances transmorphiques. Mais ce qui fait la spécificité de ce nouveau plan est que les morphismes sont composés entre eux au sein de catégories, ces compositions pouvant alors présenter les mêmes formes que celles des transformations opératoires qui constituaient l'un des contenus possibles des correspondances intermorphiques, puis transmorphiques (« groupe », « anneau », etc.). Ce que montrent les résultats des précédentes enquêtes est une convergence entre les formes des structures mises en rapport au sein d'une catégorie et les instruments de comparaison permettant cette mise en rapport.

Raison de la solidarité entre transformations opératoires et transformations morphismiques

L'explication de cette solidarité tiendrait au fait que « toutes les correspondances, opérations et compositions sont des manifestations de l'assimilation des objets ou situations à des schèmes d'actions ou de la coordination de ces schèmes par assimilations composées » (p. 202). Les capacités transformatrices s'engendrent par filiation et résultent des assimilations réciproques ou des coordinations entre les schèmes. Les correspondances résultent quant à elles de l'assimilation des objets ou situations aux schèmes. Cette dualité initiale aboutit à une solidarité croissante « à partir des niveaux où les transformations opératoires se coordonnent en structures et où les correspondances se composent entre elles et engendrent ainsi des transformations morphismiques modifiant les instruments mêmes de comparaison ». Les structures opératoires permettent d'engendrer des morphismes, et de son côté l'assimilation comparatrice, qui produisait d'abord des correspondances intramorphiques « les compare ensuite entre elles et provoque de ce fait les premières transformations morphismiques sous la forme de correspondances intermorphiques » (p. 224). Ces deux sortes de constructions tendent alors naturellement à se coordonner, les structures opératoires engendrant de nouvelles correspondances, et les compositions intermorphiques organisant en nouveaux ensembles « toutes les correspondances en présence » (id.).

De cette double construction découle une profonde unicité de toutes les constructions cognitives, que l'on peut décrire au moyen du « graphe d'un arbre généalogique » (p. 222) illustrant la solidarité entre correspondances et transformations. Dans un tel graphe, on a d'une part des relations de filiations (et ceci peut caractériser la succession des transformations opératoires), d'autre part des relations collatérales, qui peuvent figurer « les correspondances ou morphismes de toutes sortes qui ne modifient rien mais décrivent les résultats des filiations ou les comparent entre elles » (pp. 222-223). Enfin on peut considérer les liens indirects reliant les couches de l'arbre les unes aux autres. Ce troisième aspect représenterait « les transformations morphismiques et la solidarité des relations de filiations et de parentés transversales » (p. 223). Ici s'esquisse une image profondément catégorielle de l'ensemble des constructions cognitives et de leurs produits, image que, conformément à son constructivisme et à sa thèse de la continuité entre la vie et la pensée, Piaget n'hésite pas à prolonger sur



le terrain de la filiation biologique des êtres vivants et qu'il reprendra dans la dernière section de ses conclusions.

Raison du retard de la thématization des catégories

Si la construction des transformations morphismiques est parallèle et même se fait en étroite interaction avec la construction des transformations opératoires, pour quelle raison la théorie des catégories n'est-elle pas apparue simultanément avec celle des structures, dans la première moitié du XX^e siècle ? Ce retard de la thématization des catégories sur celle des structures trouve d'ailleurs son pendant sur le plan des recherches exposées dans cet ouvrage. Il est plus facile au sujet du troisième niveau de découvrir les mécanismes opératoires communs à deux systèmes mécaniques (par exemple les machines des chapitres X et XII) que de prendre conscience des morphismes qui les relient. C'est que, si des morphismes sont forcément impliqués dans la thématization des structures de transformations opératoires communes à deux ou à plusieurs systèmes, ils le sont à titre d'instruments comparatifs non conscients. De même, lorsque les Bourbaki ont découvert les structures communes à différents domaines de la mathématique, ils ont certes utilisé des morphismes leur permettant cette découverte, mais là aussi simplement à titre d'instruments non thématisés. Ce n'est forcément que dans un second temps, une fois achevé ce travail de découverte, qu'une réflexion sur celui-ci a pu conduire à la découverte des instruments mêmes de la thématization des structures générales, c'est-à-dire à la découverte et à la construction de la théorie des morphismes et des catégories.

De l'existence des catégories au sein de la pensée naturelle

Les sections précédentes illustrent à l'évidence que Piaget adopte face aux catégories la même attitude théorique que celle qu'il avait adoptée face aux structures opératoires dans leur rapport avec les structures générales de la mathématique, avec cette fois pourtant le désavantage que la découverte de catégories au sein de la pensée naturelle succède aux travaux des mathématiciens (alors que pour les structures, il y avait eu découverte parallèle des structures opératoires par le psychologue et des structures générales par le mathématicien). On comprend donc que l'auteur ressente le besoin de clore cet ouvrage en formulant quelques arguments justifiant à ses yeux la thèse de l'existence de catégories naturelles, qui ne sont pas forcément conscientes dans la mesure où elles ne dépassent pas un statut instrumental (quant aux correspondances et morphismes élémentaires, nul ne niera leur présence dans les activités psychologiques des sujets, et ce dès la petite enfance pour les premières).

Le premier argument est de type théorique. C'est la définition même d'épistémologie génétique qui implique l'hypothèse d'une continuité entre la pensée naturelle et la pensée scientifique, et plus profondément encore entre celles-ci et les processus organiques (s'il est vrai que la pensée naturelle trouve sa source en eux). Un deuxième argument est suspendu à l'esprit de symétrie caractéristique de Piaget : ce qui vaut pour les structures devrait valoir pour les catégories. Mais bien sûr, ces deux arguments ne suffisent pas à assurer l'existence de catégories naturelles ! C'est donc dans les faits eux-mêmes que l'épistémologiste généticien va chercher des justifications à

la thèse de l'existence des catégories (au moins instrumentales) au sein de la pensée naturelle, et peut-être même de précurseurs sur le plan biologique.

Au vu de la correspondance entre transformations opératoires et transformations morphismiques, c'est à propos des premières structures, les groupements, qu'il convient déjà de se demander si leur construction ne s'accompagne pas de celle, parallèle, des premières catégories. Les groupements additifs, les plus élémentaires, n'auraient pour correspondants que des « précatégories » : un sujet peut transposer sans difficulté sur d'autres objets « la manière dont il a classé ou sérié une première collection » (p. 229). Par contre, les activités comparatives liées aux groupements des vicariances, pour les classifications, et des relations symétriques, pour les relations, s'engageraient davantage dans la direction des catégories, dans la mesure où sont produites des formes annonçant l'ensemble des parties, et où la vicariance est une forme d'endomorphisme (application d'un ensemble dans lui-même).

Mais c'est avec les groupements multiplicatifs que « la forme catégorielle paraît se constituer avec tous ses caractères, comme dans le cas d'un arbre généalogique à générations indéfiniment croissantes » (p. 229). Piaget rappelle alors l'exemple des relations de parenté exposé au chapitre VII. Les « flèches » reliant les individus les uns aux autres, aussi bien collatéralement et obliquement que dans l'ordre des filiations successives, ainsi que les compositions de ces flèches, respecteraient les lois de définition d'une catégorie (en l'occurrence spéciale, puisque se rattachant, via le groupement, aux objets réels sur lesquels il agit). Le second exemple, sur lequel s'achève cet ouvrage, est celui de la classification complète des formes vivantes, dans lequel on peut également mettre en correspondance les groupements d'organismes de différents niveaux (espèces, genres, familles, ordres et classes) les uns avec les autres, quelle que soit leur distance dans l'arbre général de classification.

Ces deux exemples s'achèvent sur l'affirmation selon laquelle « les groupements [au moins multiplicatifs] peuvent prendre une forme de catégorie, mais sans que celle-ci épuise leur signification. C'est d'ailleurs le cas de toutes les catégories appliquées à des structures opératoires, le maximum de convergence ne se rencontrant que dans le cas de la catégorie des ensembles, du fait que ceux-ci résultent dès le départ d'une mise en correspondances assurant la coordination » (p. 230). Deux remarques pour rendre ce dernier paragraphe un peu plus explicite. La première concerne l'affirmation selon laquelle la forme de catégorie n'épuiserait pas la signification des structures opératoires. Peut-être Piaget voulait-il dire par là que, dans la mesure où, au moins pour les groupements, ces structures restent attachées aux contenus concrets sur lesquels portent les transformations opératoires, une partie de leur signification dépendrait de ce lien, la signification ne se réduisant pas à leurs seules caractéristiques formelles. Quant à la place spéciale accordée à la catégorie des ensembles, on peut y voir deux explications complémentaires. D'une part, la catégorie des ensembles appartient effectivement, contrairement aux catégories de groupements, à la théorie mathématique des catégories, et en fournit même le point de départ ; et d'autre part, les ensembles et les opérations qui leur correspondent entrent dans le champ d'étude du psychologue généticien et ont effectivement été traités par Piaget dans son *Esquisse de logique opératoire*. A reconsidérer d'ailleurs les ouvrages de modélisation publiés dans les années 40 et 50 à travers le prisme de Morphismes et catégories, on ne peut se déprendre du sentiment que leur auteur y adoptait alors une démarche qui, en un sens, préfigure celle à l'œuvre dans l'étude des catégories en mathématique.



Remarques finales : apport de ces nouvelles recherches relativement à la notion de sujet

Au terme de ces recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories, on perçoit mieux en quoi celles-ci modifient assez fondamentalement la notion ou l'image du sujet intellectuel. Alors qu'auparavant celui-ci était avant tout considéré comme un sujet opérant sur ses objets pour les modifier (y compris sur les relations, par exemple en ajoutant des différences dans le cas de la construction d'une sériation, ce qui pouvait poser des problèmes d'interprétation des conduites en jeu), à partir de ces nouvelles recherches le sujet est vu à la fois comme transformant ses objets (y compris mentaux) et comme établissant des correspondances entre eux. Evidemment ceci exige de reconsidérer le problème épistémologique fondamental des apports respectifs du sujet et de l'objet dans la construction des connaissances, et d'accorder une attention accrue à l'apport des lectures de l'expérience dans cette construction.

Enfin, notons que les recherches sur les morphismes et les catégories, comme d'ailleurs la quasi-totalité des recherches de la dernière décennie, sont entièrement basées sur cette méthode « empirico-théorique » acquise par l'auteur lors de ses premiers travaux de zoologie (Ducret, 1984). C'est en observant et en classant les faits que Piaget élabore les concepts théoriques qui lui permettent à la fois ce travail de classification mais aussi un travail d'explication. Les seules étapes où l'auteur a pris une voie différente sont celle des années passées à construire les modèles logiques des groupements et du groupe INRC et celle des travaux d'élaboration du modèle probabiliste des centrations perceptives. On remarquera pourtant que la construction des groupements a consisté non pas à construire un modèle hypothético-déductif, mais à construire des instruments de comparaison et d'explication de ce qu'il a constaté sur le plan du développement cognitif, ce qui était une manière d'anticiper les recherches sur les morphismes et les catégories !











8. Le possible et le nécessaire. I : L'évolution des possibles chez l'enfant

Introduction

Ces recherches sur l'évolution des possibles ont un objectif clairement épistémologique. Il s'agit d'opposer à l'innéisme et à l'empirisme un nouvel argument. Certes les recherches antérieures ont largement décrit des mécanismes de construction cognitive, notamment les régulations et l'équilibration majorante. Mais on pourrait objecter que ces mécanismes sont innés, ou encore qu'ils résultent d'un apprentissage plus ou moins complexe. C'est pour tenter de désamorcer ce type d'explication, qui ferait des processus de construction cognitive un produit dérivé d'un processus dominant raison à l'innéisme ou à l'empirisme, que Piaget change d'angle d'étude pour renforcer la thèse centrale du constructivisme génétique, à savoir l'affirmation d'une continuité de fonctionnement entre les constructions biologiques et les constructions cognitives (continuité qui ne relève pas de l'hérédité spéciale sur laquelle reposent les doctrines innéistes contemporaines). Ce ne sont plus les opérations et les notions opératoires qui sont essentiellement visées ici, mais un objet les débordant très largement puisqu'il s'agit des possibles au sens de tout ce qu'un sujet d'un niveau donné est susceptible d'actualiser au cours de n'importe laquelle de ses activités cognitives, que ce soit des actions ou des idées. Quelle est l'origine de ces possibles, sont-ils innés ou bien se construisent-ils progressivement ? – telle est la nouvelle question dont l'auteur souligne l'intérêt épistémologique.

Les recherches exposées dans cet ouvrage apporteront une réponse constructiviste. Mais des arguments logiques peuvent être aussi avancés, en particulier contre la thèse innéiste. Admettre cette thèse serait admettre que toutes les idées, y compris les fausses, préexisteraient dans l'esprit de tout sujet. Il faudrait aussi admettre que les nouveaux possibles se révélant à chaque pas lors de la découverte par le sujet, en un moment particulier, d'un possible également particulier seraient contenus dans « l'ensemble contenant tous les possibles », notion d'ailleurs vraisemblablement antinomique. Il est certain que toute solution qui permettra de se débarrasser de l'absurdité et de l'invraisemblance de ces deux conséquences de la thèse innéiste se trouvera par là même confortée. Or c'est bien une telle solution que le constructivisme est à même de fournir en s'appuyant sur les résultats des enquêtes psychogénétiques.

L'intérêt de ces recherches n'est pourtant pas seulement de fournir de nouveaux arguments au constructivisme. Il tient aussi, et peut-être surtout, à l'enrichissement qu'elles apportent à la théorie constructiviste. Alors que la conception classique, mais aussi



celle issue des travaux sur les correspondances, les morphismes et les catégories, centraient l'analyse des processus constructifs sur la construction des opérations et des notions opératoires, les nouvelles recherches sur le possible élargissent le champ étudié. Ce sont toutes les actions, toutes les « procédures », tous les cheminements cognitifs par lesquels passe chaque sujet lors des mille problèmes rencontrés qui sont maintenant incorporés dans le modèle de l'équilibration, alors adapté à cet effet. La différenciation des possibles et l'exigence d'intégrer les résultats de cette véritable différenciation créatrice sont le cadre général au sein duquel pourront se faire les équilibrations spéciales aboutissant aux structures opératoires.

Le changement assez radical d'objet auquel procède Piaget dans cette recherche sur les possibles est aussi un changement d'échelle. Comme il l'écrit dans les conclusions du deuxième ouvrage consacré au possible et au nécessaire, ce n'est plus de la genèse et de la construction des structures dont il s'agit, mais des « processus fonctionnels d'ensemble qui semblent commander ces constructions structurales ininterrompues » (Le possible et le nécessaire. II : L'évolution du nécessaire chez l'enfant, p. 172). Les processus de régulation, de différenciation, d'intégration, etc., qui ont été examinés dans le contexte de l'évolution des structures et des notions opératoires (et dans le contexte de leurs précurseurs sensori-moteurs) ne sont plus que des spécialisations d'un fourmillement de régulations, de différenciations, d'intégrations, etc., particulières se produisant dans la totalité du système cognitif de l'individu, composé aussi bien de suite d'actions (de « procédures ») peu généralisables, que de schèmes préopératoires, puis opératoires.

L'originalité des recherches sur l'évolution des possibles se révèle aussi à l'utilisation de deux notions nouvelles que l'auteur propose à la psychologie génétique, en s'appuyant d'ailleurs sur les recherches conduites par Inhelder, Cellérier et leurs collaborateurs. Il s'agit des notions de schème présentatif et de schème procédural¹⁰⁴. Par schème présentatif, il faut entendre la saisie en compréhension des caractères simultanés d'un objet, ou le résultat de cette saisie en compréhension (par exemple le schème présentatif d'un objet est la forme sous laquelle cet objet se présente). Par schème procédural, il faut entendre un savoir-faire particulier, une suite d'actions permettant d'atteindre un but ponctuel (par exemple « empiler des assiettes »). Enfin, les schèmes opératoires (dont la notion se trouve déjà dans les travaux de psychologie génétique classiques) apparaissent comme une synthèse des schèmes présentatifs (ils comportent une structure intemporelle) et des schèmes procéduraux, les opérations

¹⁰⁴ La notion de procédure provient de la théorie des fondements en mathématique, puis de sa généralisation en intelligence artificielle. Dans un important rapport de recherche publié dans le cadre du laboratoire d'intelligence artificielle du MIT, Papert avait conçu dès le début des années 70 la notion d'une « épistémologie procédurale ». Il y opposait les connaissances procédurales, composées de « recettes » ou de liste d'instruction pour atteindre un but donné, aux connaissances déclaratives, dans lesquelles des prédicats sont attribués à des objets (par exemple « Socrate est mortel »). La notion de « schème présentatif » peut être considérée comme un élargissement de la notion de « schème déclaratif ».



étant aussi des actes temporels. Notons immédiatement que ces notions souffrent d'un certain nombre d'incertitudes et d'imprécisions (par exemple, en tant que suite d'actions, un schème procédural n'est pas purement ad hoc ou particulier, puisqu'une succession comporte un ordre sur lequel le sujet pourra toujours s'appuyer pour construire des préopérations ou des opérations logico-mathématiques de portée générale). Ces imprécisions s'expliquent par la nouveauté du champ abordé et par la méthode constante utilisée par Piaget au cours de ses recherches : c'est en se confrontant aux faits que sont progressivement construits, par différenciation et intégration, les concepts de la théorie constructiviste. L'introduction de nouvelles notions exigerait une coordination complète, en extension aussi bien qu'en compréhension, avec celles préalablement utilisées. C'est à cette tâche qu'Inhelder et Piaget ont commencé à s'atteler dans un article sur « Procédures et structures », publié en 1979, mais sans qu'il soit donné de suite à ce nécessaire travail d'intégration conceptuelle.

La poursuite d'un tel travail d'intégration serait cependant d'autant plus nécessaire qu'aux deux notions de schème présentatif et de schème procédural, l'auteur fait correspondre « deux grands systèmes cognitifs [...] complémentaires » (p. 8) : le système des schèmes présentatifs tendant à « comprendre » le réel, et le système procédural, « en mobilité continue, servant à 'réussir' donc à satisfaire des besoins par inventions ou transférences de procédures » (id.). Entrent ainsi en relation dialectique un sujet essentiellement épistémique et un sujet psychologique qui, pour être périphérique par rapport à l'objet central de l'épistémologie génétique, n'en est pas moins essentiel à sa construction, puisque c'est toujours à travers son fonctionnement que se construit progressivement le sujet épistémique.

Enfin, Piaget livre dès cette introduction un fait important mis en évidence par les recherches sur l'évolution des possibles. Chaque début de construction d'un savoir épistémique se caractérise par une indifférenciation ou par la difficulté d'établir des frontières entre le réel, le possible et le nécessaire. Ce fait, connu des historiens des sciences (Piaget donne l'exemple de la géométrie euclidienne, dont certains axiomes ont longtemps été jugés universellement vrais), se retrouve sur le terrain de la psychogénèse. Les chapitres de cet ouvrage donnent de nombreuses illustrations de la façon dont, chez un enfant confronté à un problème donné, le champ des possibles peut être drastiquement limité par des « pseudo-nécessités » ou des « pseudo-impossibilités » (par exemple, pour le jeune enfant, un carré sur une pointe n'est pas un carré). Pour atteindre certains objectifs, il ne suffit donc pas au sujet d'acquérir de nouvelles procédures et de nouvelles coordinations de moyens. Il doit aussi dépasser de telles pseudo-nécessités attribuées au réel. Un tel dépassement n'entraîne pas seulement l'insertion d'un nouveau possible au sein de la pensée du sujet. D'autres sont du même coup introduits, notamment ceux qui peuvent être engendrés par une transformation de ce nouveau possible. A la différence du réel (objectif) et du nécessaire (logique), le possible n'intervient donc pas seulement lors du passage à l'équi-



libre d'un savoir en construction, mais dès le processus des rééquilibrations (Piaget considère aussi que la capacité d'engendrer les possibles est d'abord liée à l'activité accommodatrice des schèmes d'assimilation ; il y reviendra plus longuement dans le chapitre de conclusion).

Finalement, cette introduction, très dense et novatrice, s'achève avec l'énoncé des deux problèmes principaux dont il sera question dans l'exposé des différentes recherches. Le premier concerne la mise en évidence des étapes par lesquelles évoluent les possibles engendrables par le sujet. Le second concerne le rapport entre l'évolution des possibles et le développement des structures et des notions opératoires : lequel dirige l'autre ? L'auteur, qui curieusement ne considère pas ici une solution de type tertium dont il est par ailleurs si friand, annonce d'emblée qu'il y a certainement primat de l'évolution des possibles, puisque le développement de l'intelligence opératoire s'inscrit dans le cadre plus général de cette évolution.

Quant au problème des étapes, il conviendrait de distinguer un point de vue fonctionnel et un autre structural. Du premier point de vue, on trouverait d'abord le possible hypothétique, « mélange d'essais et d'erreurs » (p. 10), puis le possible actualisable (celui retenu par le sujet après expérience), le possible déductible et le possible exigible, « lorsque le sujet croit réalisables de nouvelles constructions, mais sans trouver encore de procédures adéquates » (id.). Du second point de vue, sont distingués le possible engendré de proche en proche « par successions analogiques », le co-possible concret (anticipation simultanée de plusieurs possibles), le co-possible abstrait où les actualisations ne sont que des exemples parmi « beaucoup » d'autres concevables, et enfin les co-possibles « quelconques », en nombre illimité. Notons que ces définitions de différentes variétés fonctionnelles et structurales sont en fait la synthèse des descriptions des étapes d'évolution des possibles exposées dans les chapitres suivants.

En ce qui concerne les résumés que nous allons donner de ces chapitres, ils seront très brefs dans la mesure où il est inutile de rapporter les particularités des solutions trouvées par les sujets aux problèmes très particuliers que l'expérimentateur leur présente. En effet une recherche sur l'évolution des possibles a le désavantage de porter sur des problèmes quelconques, dont le contenu n'a pas la pertinence ou la portée épistémologique ou même didactique des situations utilisées dans les recherches sur le développement opératoire, la causalité, voire même sur l'évolution de la nécessité, puisque c'est à travers n'importe quelle situation ad hoc que cette évolution des possibles se laisse saisir. De plus, vu la nature de ces problèmes, suivre les différents possibles conçus par les enfants de différents niveaux nous conduirait très vite à nous perdre dans le dédale d'une multiplicité et d'une diversité qui se prête mal à toute description synthétique, exception faite des traits généraux relatifs aux types de possibles distingués par Piaget.



Chapitre I : Les positions de trois dés sur un support (avec C. Monnier et S. Dionnet)

a. Le problème

On demande au sujet de placer trois dés de toutes les manières possibles sur trois supports, un carré, un cercle et un triangle. En outre les six faces de chaque dé sont colorées en six couleurs différentes, et les trois supports sont aussi chacun de couleur différente. Après que l'enfant a présenté les possibles auxquels il pense spontanément, l'expérimentateur lui demande les meilleures façons d'arranger, ou les moins bonnes, ou les plus intéressantes, etc.

b. Les résultats

Niveau I

Entre 4 et 6 ans environ, les possibles sont engendrés par des « procédures analogiques ». Ayant par exemple utilisé la procédure de mettre un dé à trois des quatre angles d'un carré, lorsqu'on lui demande s'il entrevoit une autre possibilité, un sujet pourra envisager de placer un des dés à l'angle laissé vide (on voit ici que la procédure est une succession d'actions effectivement liée au contexte et passagère, contrairement aux schèmes opératoires, à la fois procéduraux et présentatifs, que l'on rencontre par exemple dans le contexte de la sériation des baguettes : placer toujours la plus petite des baguettes restantes à la suite des plus grandes déjà placées, ou l'inverse).

Quant aux pseudo-impossibilités que les sujets se donnent, on devine qu'elles sont nombreuses. Pour chaque procédure analogique, un enfant peut décider que procéder autrement, c'est « faire faux ».

Niveau II

De 7 à 10 ans, les possibles peuvent ne plus être engendrés par de simples procédures analogiques, mais par des procédures permettant d'anticiper d'emblée différents co-possibles. Par exemple un sujet pourra concevoir d'emblée sept co-possibles en posant différemment les dés en fonction des coins ou des côtés ou par petits triangles intérieurs du support triangulaire. Généralement l'anticipation des co-possibles n'atteint qu'un nombre réduit de possibles par rapport aux critères adoptés par une procédure qui peut s'avérer d'ailleurs instable (des critères sont abandonnés, d'autres introduits, etc., le tout sans intention directrice). Quoique déjà localement déductibles, les co-possibles restent donc de type abstrait et n'aboutissent pas encore à un nombre illimité de possibles.



Chapitre II : Les trajets possibles d'une voiture (avec C. Monnier et J. Vauclair)

a. Le problème

On demande aux enfants de décrire tous les chemins qu'on peut suivre avec une voiture pour aller entre deux points A et B (entre lesquels l'expérimentateur a placé un certain nombre d'objets tels qu'un sapin, etc.).

La question que Piaget se pose pour cette recherche, mais qui vaut pour les autres, est de savoir si le sujet procède d'abord par « ouvertures successives » ou au contraire en concevant d'emblée des « collections de co-possibles », et en ce cas, si ces co-possibles « atteignent rapidement une extension indéfinie ou s'ils débutent par des nombres modestes » (p. 25).

b. Résultats et conclusion

Au niveau IA (4-5 ans), les sujets n'envisagent comme possible que le chemin le plus direct entre A et B (par exemple la ligne droite s'il n'y a pas d'obstacle), ou alors ils changent de place A, B, ou peut-être un obstacle. Les ouvertures sur de nouveaux possibles restent donc successives, sans liaison entre elles.

Au niveau IB, les sujets ne se centrent plus forcément sur le but ou sur les obstacles, mais sur les trajectoires elles-mêmes, dont ils sont maintenant capables de modifier la forme. Mais l'ouverture sur de nouveaux possibles reste basée sur des procédures analogiques.

Au niveau IIA, la variation d'un possible à un autre commence à être conceptualisée par les sujets, ce qui leur permet de concevoir des co-possibles. Mais ayant conçu un ensemble, d'extension d'ailleurs limitée, de co-possibles, ils ont de la peine à se sortir du procédé utilisé pour engendrer ces variations et à imaginer d'autres familles possibles. Leur production de possibles peut donc être plus pauvre que celle des enfants de niveau IB. Au niveau IIB (9-10 ans environ), les démarches déductives atteignent un niveau suffisamment abstrait pour permettre aux sujets d'engendrer un nombre croissant de possibles, mais il n'y a pas encore la possibilité de concevoir simultanément plusieurs familles de co-possibles. On reste donc au niveau des co-possibles abstraits.

Au niveau III, les sujets affirment l'existence d'un nombre « infini » de chemins possibles, et ils imaginent d'emblée plusieurs familles de co-possibles, par exemple selon des zigzags, en faisant des S, etc.

Dans sa conclusion, Piaget s'interroge sur le lien entre cette capacité des sujets de niveau III de concevoir des possibles en nombre infini et l'acquisition des opérations formelles « dont les caractères sont entre autres de savoir raisonner sur des possibles, d'y plonger le réel et de les relier par des liens nécessaires » (p. 33). Trois arguments le conduisent à soutenir la thèse selon laquelle, bien que les deux développements soient solidaires, « celui des possibles semble constituer un cadre indispensable sans lequel celui des opérations ne saurait s'effectuer » (p. 33). Le premier tient dans le fait



que « les procédures préparent et engendrent les structures » et qu'il y a continuité « entre les procédures analogiques de départ, les procédures déductives de divers ordres et les procédures opératoires de niveaux successifs » (p. 33)¹⁰⁵. Le second réside dans le constat selon lequel il y a une continuité entre les différentes variétés de possibles découvertes par les enfants (du possible unique du sujet de niveau IA aux possibles en nombre infini du niveau III). Cette continuité parlerait en faveur « d'une certaine autonomie dans le développement des possibles » (id.). Enfin, troisième argument, le passage des possibles analogiques aux co-possibles concrets puis abstraits se traduirait « par un passage des variations extrinsèques sans récursivité aux variations intrinsèques récursives et ceci est de nature à favoriser le développement des structures opératoires » (id.).

Comment interpréter ces arguments ? Le développement des opérations et celui des possibles étant solidaires, on peut supposer qu'en sens inverse de l'action du second sur le premier, seul explicité ici par Piaget, il faille considérer l'action du premier développement sur le second. C'est au moyen de préopérations (logiques, géométriques, etc.), puis d'opérations logico-mathématiques, avec les inférences qui s'y attachent, que le sujet peut engendrer des possibles. Mais, et ce serait là l'apport essentiel de ces recherches sur l'évolution des possibles, l'ouverture sur de nouveaux possibles apporterait en retour les matériaux nécessaires à la construction des opérations.

Chapitre III : Les formes possibles d'une réalité partiellement cachée (avec E. Marbach)

a. Le problème

Dans cette recherche le sujet ne doit pas agir sur des objets ou sur une situation de toutes les manières à ses yeux possibles, mais se représenter ce que peut être la partie cachée d'un objet. Celui-ci peut être une boîte dont une partie des faces sont dissimulées (on interroge l'enfant sur leur couleur). Ce peut être aussi des formes géométriques partiellement cachées dans de la ouate (par exemple des triangles, des cailloux, etc.). Enfin une troisième situation est composée d'une boîte fermée, mais où de deux côtés sortent des pointes pouvant sembler faire partie d'un seul objet, un triangle.

¹⁰⁵ L'exposé de ce premier argument offre une illustration des problèmes que soulève la coordination de la nouvelle conception que Piaget esquisse dans cet ouvrage et les conceptions constructivistes proposées jusqu'alors, y compris dans les recherches précédentes sur l'abstraction réfléchissante, la généralisation et les correspondances. Si « les procédures engendrent les structures », que faire alors des processus d'abstraction réfléchissante, de compensation, de régulation ou encore de coordination (y compris des affirmations et des négations) par lesquels était jusqu'alors expliquée la construction des structures ?



b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, la partie cachée ne peut être que ce que semble suggérer la partie visible (par exemple, si celle-ci est de telle ou telle couleur, alors la partie cachée a la même couleur). On a en ce cas une claire illustration d'une pseudo-nécessité qui, ici, laisse place à un seul possible, alors identifié au réel. Au niveau IB, il y a un début d'abandon de ces pseudo-nécessités, mais qui n'aboutit qu'à imaginer un autre possible (par exemple, doutant de la pseudo-nécessité précédemment accordée à la couleur cachée, le sujet en vient à concevoir qu'elle est rouge et non pas blanche). Mais le sujet ne conçoit encore que successivement les divers possibles imaginés, par « transférence de procédures » basée sur l'analogie, « c'est-à-dire en utilisant des ressemblances [...] mais sans négliger les différences qu'il importe au contraire de dégager [...] puisqu'il s'agit [...] de découvrir de nouveaux possibles différents des précédents » (p. 45 ; en d'autres termes, le sujet va utiliser une procédure similaire à celle qu'il vient d'utiliser, à une variation près)¹⁰⁶.

Au niveau II, stade des opérations concrètes, le sujet est capable de concevoir plusieurs co-possibles concrets (par exemple la partie cachée pourrait être « de beaucoup de couleurs : blanc, jaune, gris », etc. (p. 44). Puis l'ouverture sur de nouvelles familles de co-possibles s'étend progressivement, ceux-ci restant toutefois liés aux « actualisations matérielles » envisagées (p. 47).

Enfin, au niveau III, les sujets conçoivent immédiatement que les solutions possibles sont en nombre indéfini (et infini).

Deux questions théoriques sont tour à tour abordées dans ce chapitre. D'abord celle de savoir si ce sont les opérations concrètes qui expliquent que les co-possibles atteints par les sujets de niveau II se limitent aux seuls possibles matériellement actualisables, ou l'inverse. Puis de savoir comment ces co-possibles limités en viennent à s'étendre au possible déductible « avec généralisations immédiates au quelconque ou à l'infini » (p. 48) .

En ce qui concerne les co-possibles matériellement actualisables, trois arguments poussent Piaget à affirmer que ce sont les limitations des familles de ces co-possibles « qui conditionnent les opérations 'concrètes' » (id.) et non pas l'inverse. Il vaut la peine de les citer dans la mesure où ils permettent un peu mieux de comprendre l'articulation alors entrevue entre l'évolution des possibles et le développement opératoire :

En premier lieu, les analogies et transférences procédurales sont plus générales et plus précoces que les opérations : selon les problèmes on en observe dès les niveaux sensori-moteurs. En second lieu, les familles de co-possibles reposent essentiellement sur les ressemblances et différences, tandis que les structures opératoires exigent en outre un équilibre précis entre les affirmations et les négations de divers ordres. En troisième lieu, le processus conduisant de l'indifférenciation initiale du réel, du possible et du nécessaire, à une différenciation progressive (et finalement à une intégration d'ensemble) se situe à une échelle

¹⁰⁶ Inutile de dire que la notion très imprécise de procédure utilisée ici n'a plus qu'un lointain lien avec son origine mathématique !



plus globale que la formation des opérations. Il semble ainsi que ce soit cette évolution d'ensemble qui domine celle des structures opératoires (p. 47).

Ces arguments sont-ils tout à fait probants ? On peut en douter si l'on considère, par exemple, que les co-possibles attachés aux opérations concrètes offrent certainement un équilibre des affirmations et des négations ; ou encore si l'on considère que les actions préopératoires et les mises en relation qui leur correspondent (voir la recherche sur les correspondances) reposent elles aussi très largement sur des ressemblances et des différences, ou sont pareillement guidées par des analogies. Encore une fois, l'esquisse de coordination proposée ici semble trop se faire au moyen d'une sous-estimation des anciennes découvertes pour ne pas manquer au moins partiellement son but (qui est de mettre en rapport l'évolution des possibles et le développement des opérations).

Mais venons-en à la deuxième question, à savoir la façon dont les co-possibles en arrivent à dépasser les limites des « actualisations matérielles » pour s'étendre à l'infini. Piaget commence par observer que les variations engendrant les premiers possibles deviennent ensuite relatives, basées sur le plus et le moins. Mais dès lors le sujet peut intercaler en pensée « tous les intermédiaires en un continu ' infini ' » (p. 49). En d'autres termes, « les relations entre ressemblances et différences, au lieu de se modifier selon des successions non récursives [...] s'organisent en variations intrinsèques constituant un système récursif » (p. 49 ; notons en passant que les procédures utilisées par les sujets paraissent plus généralement être de nature itérative, « précurseur » ou récurrente que récursive). Mais n'est-ce pas alors l'acquisition des opérations formelles qui permet d'engendrer ces différences en nombre illimité ? La réponse apportée à cette question (qui s'achève sur une dernière affirmation grammaticalement peu claire, voire incorrecte ¹⁰⁷ !) est intéressante dans la mesure où elle laisse apercevoir cette articulation entre l'évolution du possible et la construction des opérations qui est au cœur de cet ouvrage. L'auteur part de sa thèse, qu'il affirme explicitement ne pas remettre en cause, selon laquelle « la formation des opérations est due à un mécanisme d'équilibrations et d'autorégulations » (p. 50), pour suggérer l'existence d'une régulation des possibles « qui se manifeste par une équilibration des ressemblances et des différences lors de la constitution de familles de co-possibles » (id.). Il peut dès lors en conclure que « la régulation des possibles et les possibles inhérents aux régulations dont procèdent les opérations constituent un même grand système d'équilibration d'ensemble, à titre de totalité fonctionnelle englobante » (id.).

En d'autres termes, le sujet engendrant intentionnellement des possibles est inévitablement conduit à procéder à des régulations au sein de ces possibles (par exemple en sélectionner certains pour les regrouper, juger que quelques-uns sont meilleurs que d'autres en fonction du but poursuivi, etc.) ; mais par ailleurs tout comportement de régulation actualise une variation au sein d'un ensemble de variations possibles. La notion d'équilibration des possibles apparaît dès lors plus générale que celle de

¹⁰⁷ Nous citons ce fait qui nous paraît être un bon indice que le problème sur lequel Piaget se penche de manière répétée au cours de cet ouvrage, et qui est certes très important pour le constructivisme, n'a vraisemblablement pas trouvé de solutions claires au terme de la présente recherche.



préopérations conduisant aux opérations, et la première englober la seconde. Ce qui veut dire que plonger « le développement des structures opératoires en un processus général relevant lui aussi des mécanismes d'équilibration [ne contredit] en rien l'acquis de nos analyses antérieures » (p. 50). Citons dès lors la toute dernière affirmation, grammaticalement peu claire, pour tenter d'en retrouver le sens, affirmation importante puisque Piaget annonce la tâche qu'il reste à accomplir à propos de la régulation des possibles :

[...] il restera naturellement à montrer comment s'effectuent en régulations des analogies procédurales dans le sens de groupements stables de ressemblances et de différences, et surtout du complètement de ces dernières par des systèmes de négations, encore subordonnées aux contenus dans le cas des opérations concrètes du palier II mais atteignant le niveau de formes pures à partir de l'étape où les possibles sont susceptibles en tant que tels d'être coordonnés par des liens nécessaires (p. 50).

Des possibles sont d'abord engendrés par voie analogique qui, comme les réponses des sujets préopératoires, sont instables, changent au gré des suggestions apportées par les constats successifs. Les régulations de ces premiers possibles devraient conduire à des familles de possibles basées sur des regroupements stables de ressemblances et de différences. Puis le travail de régulation devrait se poursuivre, substituant à ce regroupement des ressemblances et des différences un système équilibré d'affirmations et de négations qui le dépasse et l'englobe (les Recherches sur la contradiction permettent de comprendre ce dont il est question ici). Ce système, d'abord développé sur le plan concret de la logique concrète, atteindrait sa forme ultime, hypothético-déductive, avec le réglage achevé des rapports entre le possible, le nécessaire et le réel. Ce qui resterait donc à montrer, c'est comment se font dans le détail les régulations des possibles aboutissant à chacune de ces étapes de l'évolution du possible.

Chapitre IV : Le découpage d'un carré (avec E. Marti et C. Coll)

L'un des intérêts de ce chapitre tient au fait que la notion de procédure y est plus facile à saisir en raison du caractère très concret et simple des actions demandées aux sujets : découper des formes dans des cartons. Cette simplicité va permettre à Piaget de développer de manière un peu plus précise sa conception des rapports entre l'évolution des possibles et la construction des opérations.

a. Le problème

L'expérience comporte deux parties. Dans la première, l'expérimentateur demande aux enfants de découper comme ils veulent un certain nombre de carrés qu'on leur donne, puis de recouvrir une certaine surface orange avec les morceaux obtenus. Dans la seconde, on leur demande de découper de toutes les manières un carré en deux, trois ou quatre morceaux, puis de diviser de toutes les façons possibles le carré en deux, trois ou quatre parties égales.



b. Section I : Les découpages libres

De manière générale, au niveau I, les procédures par lesquelles le sujet engendre des possibles initialement en nombre très réduit se succèdent en fonction de simples rapports d'analogies, et le sujet peine à en trouver de nouveaux.

A un premier sous-niveau IA, le découpage est orienté vers la fabrication d'une forme (géométrique ou non, par exemple un petit carré, ou alors une lettre, un tournevis, etc.). Cette forme une fois prélevée dans le carton, les autres morceaux résultant du découpage sont considérés comme des déchets (même si le sujet s'en sert pour recouvrir la surface orange).

Au niveau IB par contre, tout en réalisant des conduites similaires aux précédentes, les enfants commencent à considérer le découpage comme un partage (et non plus exclusivement comme un moyen de fabriquer une forme). Le reste est pourtant souvent encore considéré comme un déchet.

Au niveau II, il y a cette fois clairement partage : le sujet part d'une totalité avec l'objectif de la découper en morceaux. Ayant découvert une procédure de partage, il y introduit des variations pour répondre à la demande de l'expérimentateur qui l'incite à produire de nouvelles solutions. Le découpage étant libre, ces variations peuvent être aussi bien asymétriques que symétriques (contrairement à ce qui apparaîtra lors de découpages en 2, 3 ou 4), bien qu'au début ce soient les variations symétriques qui dominent.

c. Section II : Le partage en deux morceaux et le partage en trois morceaux

Le sujet doit découper un objet en deux morceaux. Au niveau IA, on retrouve la procédure du prélèvement. Un sujet prélève par exemple deux bandes en vertical dans le carton. Le reste là aussi ne compte plus. Au niveau IB, les sujets tendent cette fois à découper l'objet en deux, mais ils peuvent utiliser deux découpages, le reste (le troisième morceau) étant alors laissé de côté. Piaget note qu'à ce niveau IB, des possibles sont plus facilement produits qu'au niveau de réponses correspondant pour la première situation. La raison en est selon lui que les procédures utilisées sont finalisées en fonction de la consigne (il s'agit d'obtenir deux morceaux).

Le niveau II se caractérisant par la substitution de la procédure de partage à la procédure de prélèvement, il devient plus facile de répondre à la consigne (découper un objet en deux morceaux). Seulement les sujets d'un niveau IIA déduisent de celle-ci une contrainte de symétrie qui limite le champ des possibles concevables (alors que certains de ces sujets avaient réalisé des découpages asymétriques dans la première partie de la recherche). Ces sujets découpent le carré par l'une puis l'autre de ses deux médianes, puis, autre solution possible, ils pensent à couper le carré selon ses deux axes. On voit donc que les possibles sont drastiquement réduits en raison de la contrainte de symétrie. Butant sur cette limitation, les sujets de ce niveau tentent d'en sortir en retombant alors dans une procédure de prélèvement (un enfant pourra par exemple découper deux triangles égaux dans le carré, puis prenant conscience du reste, voir que sa solution ne joue pas).

Dès le niveau IIB par contre, cette exigence de symétrie est levée et les enfants, guidés par le but d'obtenir deux morceaux, parviennent à multiplier les possibles. Au niveau



III enfin, les sujets parviennent à concevoir un nombre illimité de solutions, cela même dans le cas où la consigne est de découper deux morceaux de grandeur égale.

Dans la situation où il s'agit de couper un objet en trois morceaux, on retrouve les mêmes sortes de réponses, à l'exception du niveau IIA, où certains sujets, s'imposant là aussi une contrainte de similitude, jugent impossible un tel partage (la procédure du découpage par les médianes ou les axes du carré ne permettant effectivement pas d'obtenir les trois formes similaires qu'ils se donnent comme but).

d. Conclusions

Piaget commence par observer que le passage des procédures de prélèvement aux procédures de partage s'effectue vers 7-8 ans, c'est-à-dire à l'âge « de la formation des opérations partitives » (p. 63 ; ces opérations sont l'équivalent, sur le plan du continu, et en particulier de l'espace, des opérations d'addition et de soustraction sur le plan logico-arithmétique). Là encore se repose donc la question de savoir si c'est la construction des opérations qui permet d'engendrer de nouveaux possibles, ou si c'est l'inverse. On constate à nouveau que l'auteur ne présente pas la solution tierce, qui serait d'admettre un apport mutuel continu de l'évolution des possibles et de celle des actions transformatrices aboutissant aux opérations.

Un argument empirique le conduit à privilégier le primat de l'évolution des possibles : un des sujets de 5 ans est parvenu à produire un partage procédural à partir d'une procédure de prélèvement, se donnant librement comme objet d'aboutir à des formes petites, moyennes ou grandes. Il peut dès lors varier ce partage pour engendrer de nouveaux découpages possibles, ce qui démontre qu'un partage procédural est possible en l'absence de partition opératoire.

Cet argument est-il tout à fait convaincant ? Ne pourrait-on pas affirmer que les partages en tant que possibles préopératoires précèdent les partitions en tant que possibles opératoires ? En d'autres termes, on peut se demander si la conclusion à laquelle aboutit Piaget n'est pas la conséquence du fait qu'il réduit l'action possible de la construction des opérations sur l'évolution des possibles à sa phase finale (ce que confirme cette idée étonnante d'un « passage du possible à l'opératoire » par laquelle l'auteur introduit la suite de ses conclusions, p. 63). Mais si l'on inclut dans le problème théorique la considération des étapes préopératoires de la construction des opérations, c'est-à-dire précisément si l'on considère l'action de partage comme un précurseur de l'opération de partition, alors les résultats précédents permettent de conclure à une interaction permanente de cette double évolution des possibles et des opérations, et non pas à une action à sens unique.

Quelle que soit la solution adoptée, soulignons pourtant un aspect particulièrement intéressant et fécond du nouveau cadre élaboré dans cet ouvrage. L'assimilation des actions de partage à des procédures, tout en pouvant être critiquable du point de vue de la mathématique formelle¹⁰⁸, est pourtant utile si l'on considère une procédure comme une action ou une suite d'actions engendrée de manière plus ou moins ad hoc pour atteindre un but fixé¹⁰⁹. Dès lors, les préopérations utilisées par les jeunes sujets pour transformer le réel sont des procédures instables, et les opérations utilisées pour organiser le réel ou pour le comprendre sont des procédures stables (ainsi que des schèmes présentatifs, puisqu'elles sont regroupées en structure, de manière



en partie consciente, une opération directe étant par exemple immédiatement saisie comme comportant une inverse).

Un deuxième problème traité dans ces conclusions est celui du passage des procédures de prélèvement de niveau I, caractérisées par des successions analogiques, à la procédure de partage exhaustif, qui ne saurait résulter des opérations partitives, puisqu'elle les précède. Ce passage serait la conséquence du dépassement des lacunes de la procédure de prélèvement. Ce dépassement se produirait dans la mesure où les restes laissés par cette procédure sont tout de même embarrassants pour le sujet. Que faire avec eux ? Telle serait l'une des questions non formulées qui inciteraient les sujets à sortir des limites de leurs premières solutions. Et l'auteur avance alors cette affirmation, très significative de la nouvelle conception qu'il propose : « ce que [les sujets] éprouvent est un ensemble de difficultés [...] et ce qu'ils recherchent se réduit à des solutions en actions, revenant à accommoder le schème du découpage aux objets jusque-là inassimilables (les 'restes') » (p. 64). Il apparaît alors que « les nouveaux possibles, à l'échelle des changements de niveaux [passage de I à II], sont par leur nature même d'activités orientées des instruments de rééquilibration et non pas des états d'équilibre » (id.). C'est parce que leurs activités sont finalisées, en d'autres termes parce que ce sont des sujets confrontés à des problèmes ici largement pratiques, qu'ils en arrivent à sortir d'un champ limité de possibles en inventant de nouvelles procédures, ouvertes sur de nouveaux possibles. Cette affirmation nous met ainsi en présence d'une problématique tout autre que celle, classique, de la genèse et de la construction des structures opératoires. Cette attention portée aux activités finalisées détourne-t-elle Piaget de l'épistémologie pour en faire un psychologue à part entière ? Non bien sûr, puisque la visée ultime reste de comprendre comment le nécessaire et le rationnel peuvent résulter de ce processus d'équilibration généralisé au domaine des possibles et aux rapports entre le possible, le réel et le nécessaire.

Cette introduction assez massive de la finalité au sein de l'analyse des réponses des sujets est confirmée par ce que l'auteur nous dit encore de ce passage d'un niveau de procédure à un autre, ou des étapes correspondantes d'ouvertures sur de nouveaux possibles. Alors qu'au niveau I, c'est par analogies successives que se fait la découverte de nouveaux possibles, lors du passage au niveau II, l'activité accommodatrice dont il a été question ci-dessus « comporte naturellement une suite de choix, mais consistant en sélection des meilleurs » (p. 65). Parvenu au niveau II, c'est-à-dire au niveau des co-possibles, le choix se fait non seulement par rapport à un découpage, mais pour une suite de découpages possibles, découlant d'une procédure avec variation (les deux diagonales, les deux médianes, etc., dans le cas du partage en deux). Quant aux passages ultérieurs, ils se font également par abandon de limitations dues à des pseudo-nécessités diverses (comme la contrainte de symétrie).

¹⁰⁸ On observera avec intérêt que Piaget reproduit avec la notion de procédure la démarche de transposition scientifique de la notion de groupe (mathématique) utilisée dans ses travaux classiques.

¹⁰⁹ On reconnaîtra dans cet usage de la notion de procédure l'apport d'Inhelder, de Cellérier et de leurs collaborateurs.



Chapitre V : Dimidiations et duplications (avec A. Henriques-Christophides)

Ce chapitre complète le précédent dans la mesure où le problème posé aux enfants n'est plus seulement celui de la dimidiation (partage en moitié), mais aussi celui de la duplication d'une surface, d'un nombre d'objets, etc.

a. Le problème

Après avoir demandé au sujet de couper de différentes manières un objet en deux parties égales et avoir obtenu ses réponses, l'expérimentateur lui présente la moitié d'une feuille découpée en le priant de décrire comment était la feuille avant d'être coupée (c'est donc le problème complémentaire de duplication).

b. Les résultats

Au niveau I (5-6 ans), et pour le problème de dimidiation, on retrouve dans cette recherche les mêmes résultats que pour la précédente. Pour la duplication, le sujet se contente d'augmenter la quantité de départ (pour 1 haricot, il en donne certes 2, mais pour 2, il en donne 3, etc.). La duplication est manquée dans la mesure où le sujet n'a encore aucune compréhension du rapport multiplicatif. L'augmentation résulte dès lors toujours d'une « procédure additive » (observons ici qu'une telle procédure est bien une préopération, ou une addition numérique préopératoire).

Au niveau IIA la dimidiation ne pose plus de problème. Quant à la duplication, le sujet comprend maintenant qu'il doit retrouver la totalité dont est issue la moitié de la feuille qu'on lui montre, mais l'égalité de celle-ci avec la moitié reconstituée reste approximative, voire même franchement erronée. C'est le cas par exemple d'un sujet qui divise une grande feuille en deux et présente l'une des moitiés obtenues comme le complément de la moitié initiale, qui en fait était de même surface que la grande feuille, ou encore d'un autre sujet qui, pour une forme donnée, peut proposer une moitié complémentaire de forme différente (un triangle pour un rectangle, etc.).

Pourquoi une telle difficulté, alors que l'opération inverse, la dimidiation, ne pose plus de problème au niveau IIA ? C'est que, dans le cas de la duplication, « le problème ne porte pas sur des possibles actuels orientés vers des réalisations en des tâches ultérieures » (en d'autres termes, sur la recherche des différents procédés possibles susceptibles d'aboutir à deux moitiés égales) ; il porte « sur des possibles antérieurs, déjà actualisés et qu'il s'agit de reconstituer par inférences rétroactives » (p. 73). Pour expliquer le décalage entre les solutions relatives, d'une part, à la dimidiation et, d'autre part, à la duplication, Piaget peut alors évoquer les résultats des recherches sur la prise de conscience, et notamment le fait que celle-ci procède du but ou du résultat d'une action pour remonter vers les moyens.

Dès les niveaux IIB et III par contre, les duplications sont également réussies. Le sujet peut commencer par reproduire une forme identique à la moitié qu'on lui présente, et envisager les différentes manières de coller deux moitiés ; ou bien, solution plus avancée, il peut envisager le fait que l'égalité n'implique pas forcément la simi-



litude des formes, ce qui conduit à admettre de nouveaux possibles. Au niveau IIB les co-possibles envisagés reste cependant de type abstrait : le sujet envisage une ou quelques familles de co-possibles liées chacune à une procédure avec variations. Au niveau III enfin, le sujet a conscience que les solutions proposées ne sont que quelques exemples parmi d'autres, qui sont en nombre indéterminé ou illimité.

Chapitre VI : Constructions libres avec tiges articulées (avec A. Blanchet et D. Leiser)

a. Le problème

Soit une trentaine de bâtons, huit barres plus petites, et vingt joints métalliques. L'expérimentateur demande à l'enfant de faire ce qu'il veut avec ce matériel. Une première construction ayant été réalisée par le sujet, on lui demande si d'autres sont possibles. La consigne de l'expérimentateur ne guide en rien l'activité du sujet. C'est celui-ci qui, dans le courant de son activité, en arrivera à se donner des buts.

b. Les résultats

Au niveau IA, les possibles découverts restent des « possibles physiques », en ce sens que l'activité de l'enfant se déroule en fonction des seules caractéristiques du matériel et des procédures analogues qu'il peut alors lui appliquer. Le sujet ne cherche pas à se fixer des buts autres que cette répétition d'une action qui a réussi. Au départ de chaque série, il essaie de mettre ensemble deux éléments selon le possible qui a traversé son esprit et que l'on pourrait résumer par la formule : « il est possible que cela soit possible ».

Au niveau IB par contre, le sujet commence à se fixer des buts figuratifs, et lorsque la répétition d'une procédure échoue, il cherche des corrections. On a là le début de ce que Piaget appelle le « possible instrumental ». Dès lors en « essayant de tout pour voir ce que cela donne, le sujet s'en tient [...] en principe à l'empirisme des variations extrinsèques, mais certaines corrections réussies lui fournissent un début de compréhension plus intrinsèque » (p. 81).

Au niveau IIA, les conduites précédentes se généralisent pour des constructions à trois dimensions. Le sujet rencontre alors de grandes difficultés à atteindre les buts qu'il se fixe, dans la mesure où il ne maîtrise pas les possibles physiques et ne prend pas la peine de les explorer avant de se lancer dans des constructions audacieuses. Au niveau IIB par contre, le sujet, très vite rendu prudent par ses premiers échecs, procède à l'analyse du possible physique, d'ailleurs facilitée par un développement plus avancé des explications physiques.

Le niveau III (11-13 ans) voit se différencier deux groupes très différents de sujets. Ceux qui se donnent des buts de construction similaires à ceux du niveau IIB, et ceux qui, au contraire, exploitent les régularités du matériel pour concevoir des procédures avec variations permettant d'engendrer un nombre quasi illimité de solutions. Dans



le premier groupe, on observe une coordination mutuelle du possible instrumental et du possible physique ; dans le second groupe, les capacités instrumentales sont utilisées en vue d'une « analyse plus détaillée des variations que comporte le possible physique » (p. 86).

Chapitre VII : Comment faire monter un niveau d'eau (avec C. Brulhart et G. Tissot)

a. Le problème

Comme dans le chapitre précédent, le problème consiste à concevoir des possibles physiques et instrumentaux, mais cette fois le but est fixé par l'expérimentateur. Différents objets sont proposés au sujet (un gobelet, une bougie, une éponge, etc.) avec pour consigne de faire monter le niveau d'eau le plus haut possible.

b. Résultats

Au niveau I, une action propre conçue comme toute puissante se mêle à l'action prêtée aux objets pour agir sur le niveau de l'eau. Les possibles successivement prévus par l'enfant peuvent être alors pleins de surprises, comme ce sujet qui cherche à attirer l'eau vers le haut en tenant un objet au-dessus du liquide.

Au niveau II, l'anticipation des possibles physiques est fonction des découvertes progressives que les sujets font des propriétés des objets. Les actions prévues par le sujet sont donc un mélange de possibles physiques et de possibles instrumentaux, qui seront choisis en fonction des premiers. Puis l'action sur l'objet permettra de trier empiriquement entre ces derniers. Piaget décrit en outre les procédures instrumentales ad hoc utilisées par les sujets (comme appuyer sur les objets, etc.).

Bien sûr les possibles déduits par les enfants de ce niveau sont souvent la conséquence de prémisses erronées sur les propriétés physiques des objets. Mais lorsque le sujet a trouvé une propriété adéquate, il peut l'intégrer à une procédure instrumentale (comme plonger un corps dans l'eau) en variant la quantité lui correspondant (par exemple, en prenant deux ou trois objets lourds identiques à la place d'un seul, etc.).

Au niveau III enfin, la mise à l'épreuve des possibles se fait systématiquement et elle vise la découverte de procédures optimales.

L'auteur conclut par des remarques pleines de bon sens, d'un point de vue constructiviste du moins, selon lesquelles le possible physique n'est pas virtuellement contenu dans l'objet. Ce qui dans un état actuel d'un objet prépare son état futur, ce n'est pas un possible, mais un « facteur 'réel' en tant précisément qu'il est déjà à l'œuvre quoique non observable et seulement déductible » (p. 95). On retrouve ici esquissées les réflexions, plusieurs fois conduites par Piaget dans son œuvre, sur le statut du possible physique par rapport au possible psychologique. Ces réflexions sont d'ailleurs probablement en partie une des explications de la mise en place, vers



le milieu des années 70, d'un projet de recherche sur l'évolution des possibles chez l'enfant, projet qui a pris un tour peut-être inattendu avec la jonction faite avec les recherches d'Inhelder sur les procédures.

Chapitre VIII : La construction la plus grande au moyen des mêmes objets (avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis)

a. Le problème

Trois petits plots cubiques, quatre parallélépipèdes moyens et trois grands sont donnés au sujet, avec la consigne de construire le plus grand objet possible. Alors que dans la recherche précédente la progression des possibles était suspendue à celle de la causalité physique, dans cette nouvelle enquête, c'est la capacité de composer de manière réglée ou non des relations ou des variations possibles qui déterminera ici le niveau des réponses des sujets.

b. Résultats et conclusion

Le niveau I se caractérise tout d'abord par le fait que la construction des enfants se fait le long d'une seule dimension (la hauteur, ou la longueur), avec passage successif possible d'un choix à l'autre. Il se caractérise également par un phénomène de « surcomposition » similaire à la surdétermination bien connue des psychologues de l'affectivité. Par exemple, si le sujet décide de construire en hauteur, il peut par ailleurs choisir de mettre certains éléments couchés et non pas debout, ce qui conduit à une construction qui, pour l'observateur, n'est bien sûr pas la plus grande. De plus le sujet peut juger qu'en ajoutant en position couchée un nouvel élément sur une pile, celle-ci peut devenir plus petite qu'elle ne l'était, du moins si l'ancien élément supérieur était et reste en position verticale. C'est donc la forme générale de l'enveloppe qui prime, plus que la hauteur à laquelle n'est pas encore identifiée la notion de grandeur, même si le sujet a choisi de construire en hauteur pour obtenir le plus grand.

La raison pour laquelle le sujet s'en tient à l'unidimensionnalité lors de ce premier niveau tient au fait que, pour construire selon deux ou trois dimensions, il faut mettre en relation, de manière réglée, deux séries de relations. A ce niveau, le sujet est très loin de maîtriser ces opérations qui sont reliées à la construction du système des coordonnées géométriques.

Le problème dans cette recherche va donc être de comprendre « comment les surcompositions vont peu à peu se régler par la construction de relations entre relations, donc de possibles de rang supérieur, comme le sont déjà (nous l'avons vu sans cesse) les co-possibles remplaçant les seules successions analogiques, et comme le montre surtout, de façon plus générale, le processus conduisant des possibles suggérés par les seules variations extrinsèques aux possibles déductibles portant sur les variations intrinsèques d'un système convenablement délimité » (p. 102). Là encore c'est sur



le passage au niveau II, qui correspond à l'apparition des opérations concrètes, que Piaget fait porter l'essentiel de son effort d'analyse.

A un niveau IIA, on voit le sujet sortir d'une construction unidimensionnelle et cherchant à « parvenir aux relations de surface ou du moins de bidimensionnalité » (p. 104). Par exemple, après avoir empilé des plots couchés, le sujet procède de même, mais en introduisant un léger décalage entre ces plots. Il soutient alors que la seconde construction est plus grande « parce qu'il y a du vide ici » (sous le plot supérieur décalé par rapport à l'axe vertical). Au niveau IIB par contre, les enfants s'appuient explicitement sur l'idée de faire à la fois le plus haut et le plus large possible (pour avoir la plus grande surface).

Le fait que les sujets de niveau IIA n'utilisent pas cette opération de multiplication des relations apparaît comme une nouvelle confirmation que c'est l'évolution des possibles, et en l'occurrence le passage des « successions analogiques aux 'co-possibles' » (p. 104), qui leur a permis de considérer une grandeur globale bidimensionnelle et de dépasser les surcompositions du niveau I. Mais, comme précédemment, on pourrait rétorquer que si, effectivement, on constate un élargissement et une transformation des possibles, il y a en même temps un début de coordination des actions d'ajouter des éléments selon deux dimensions, même si cette coordination n'est pas encore le fait d'un réglage opératoire.

Enfin, l'auteur note qu'au niveau IIA la formation des co-possibles peut être mise en relation avec « le développement des réactions d'amélioration et d'optimisation » (p. 105)¹¹⁰. Il ne s'agit plus de corriger après coup des erreurs, mais d'anticiper ou de prévoir des possibles qui améliorent la performance par rapport au but fixé, et c'est alors que les constructions bidimensionnelles, qui exploitent le caractère mélangé des réactions de niveau I, apparaissent comme des possibles à essayer.

Quant au niveau III, les sujets y prennent conscience que leur solution n'est qu'un exemple des familles de solutions potentiellement possibles (des « possibles exigibles », pour reprendre l'expression de l'introduction). Mais en outre le développement de la notion de volume tridimensionnel leur permet de conclure assez vite que, quelle que soit la solution choisie, la grandeur (en volume) ne change pas. Ainsi, comme le montre « notre niveau III où la multiplicité illimitée des formes possibles s'insère dans le cadre d'une conservation nécessaire » (p. 108), ou encore le rôle des variations intrinsèques dans la production du possible, les structures opératoires se révèlent être une « synthèse du possible et du nécessaire » (id. ; on retrouvera ce point plus longuement développé dans les conclusions générales).

Mentionnons encore, pour terminer l'examen de ce chapitre, une remarque de Piaget selon laquelle les possibles exigibles, qui sont caractéristiques du niveau III, n'empêchent pas la présence de procédures par analogie ou de constructions équivalentes à celles trouvées dans les niveaux antérieurs, en particulier lorsque les sujets décident d'explorer des familles particulières de solutions possibles. Cette multiplicité des productions des sujets conduit alors l'auteur à constater que, comme dans les travaux de « B. Inhelder et son équipe », il aurait été possible dans le cadre des présentes recherches sur le possible de « donner pour chaque sujet le détail d'une très longue activité de productions modifiant les significations en fonction des procédures ou l'inverse et se concrétisant en stratégie » (p. 107). On a là une claire reconnaissance



des suggestions que l'étude sur l'évolution du possible a pu trouver dans les recherches dirigées par sa collaboratrice.

Chapitre IX : Constructions d'objets avec tiges et boulettes de pâte (avec I. et M. Flückiger)

Ce chapitre offre l'intérêt de se centrer sur l'évolution des possibles en liaison avec l'évolution des procédures de résolution du problème posé et des schèmes présentatifs. On y découvre ainsi mieux ce qui est spécifique à cette triple évolution, abstraction faite de la question des rapports avec le développement opératoire.

a. Le problème

On donne au sujet des cure-dents et des petites boulettes de plasticine en lui demandant de faire quelque chose avec ces objets, de telle manière que de grosses boules de plasticine, supposées représenter des sacs de blé, soient à l'abri d'une inondation (les solutions envisageables sont, par exemple, de construire un barrage ou alors une élévation).

b. Résultats et conclusion

Nous ne rapporterons pas de comportements particuliers d'enfants. Il est en effet assez facile d'imaginer ce qui peut se passer chez un sujet qui pique des boulettes de plasticine avec des cure-dents pour construire tel ou tel édifice. Ce qui importe ici, c'est avant tout la réaction des sujets aux échecs de leur construction.

Au niveau IA, les sujets se donnent des buts comme construire une palissade ou une maison. Lors des échecs ou des difficultés qui ne manquent pas d'apparaître (le morceau de palissade trop dur à édifier, etc.), ils ne cherchent pas à corriger leurs constructions précédentes, mais se donnent un nouveau but (par exemple, celui de faire une fleur). Les procédures et les possibles explorés s'enchaînent dès lors par simples « successions analogiques ». Pourquoi modifient-ils le but plutôt que tenter de corriger les moyens utilisés ? C'est que, choisir un but dans ce contexte, c'est imaginer, au moyen du matériel à disposition, un objet correspondant à un schème présentatif d'assimilation ; alors qu'au contraire modifier un moyen, c'est trouver l'accommodation adéquate. « En ces conditions – observe Piaget – une assimilation

¹¹⁰ On soulignera ici l'intérêt de cette suggestion d'un « développement des réactions d'amélioration et d'optimisation ». Déjà l'idée de différents niveaux de régulations avait été esquissée dans L'équilibration des structures cognitives. Mais il n'était pas encore question d'un développement des régulations. Avec la thèse d'un « développement des régulations majorantes », Piaget fait un pas de plus vers ce qui est apparu comme une lacune surprenante des dix dernières années de ses recherches : l'absence d'un programme consacré précisément, et directement, à l'étude de ce développement !



présentative n'ayant pas abouti, il est plus facile de recourir à une autre que d'imaginer des variations accommodatrices sans modèle déjà actualisé » (p. 112).

Dès le niveau IB par contre, les enfants ne changent plus forcément de but en cas d'échec ou de difficulté, mais cherchent des corrections par rapport aux moyens adoptés, ce qui témoigne d'une « croyance à une réussite possible » (p. 112) ou à une « amélioration possible » (p. 113). Il y a là une sorte de forme pure ou vide de possibilité qui intervient avant même que le sujet ait l'idée de quelles corrections il convient d'apporter à ses actions¹¹¹. Ce possible moteur est important, puisqu'il déclenche une « recherche d'améliorations avant de parvenir à les imaginer » (p. 115). A cette forme pure de possibilité succède alors un « possible hypothétique » (p. 114) : il se pourrait que telle ou telle correction apportée à l'action conduise au succès souhaité. Enfin, toujours dès ce niveau IB, dès qu'un sujet aura constaté que tel possible hypothétique a abouti au résultat espéré, ce possible se métamorphosera en « possible actualisable » (id.) pouvant être transféré à une nouvelle situation où de nouvelles difficultés apparaissent.

Au niveau II, le lien avec le développement opératoire se révèle progressivement, dans la mesure où le sujet cherche à construire des surfaces horizontales surélevées, par exemple des tables, pour y construire les objets (il y a donc là des contraintes géométriques, etc., sur l'analyse desquelles Piaget ne s'attarde pas). Les découvertes de l'enfant concernant les procédures de construction l'amènent aux co-possibles (on peut construire des tables avec plus ou moins de pieds, qui sont plus ou moins hautes, etc.). Dès cette étape se manifeste alors un nouveau palier important en ce qui concerne le possible en tant que moteur de progressions. Alors qu'au niveau IB, le possible comportait une croyance en des améliorations encore inconnues, et donc incitait le sujet à les découvrir, aux niveaux II et III, la recherche d'améliorations ne va plus seulement porter sur la correction d'une procédure à la suite d'un échec, mais sur le perfectionnement d'une procédure, puis sur son optimisation. Par exemple un sujet ayant construit une table pour poser les sacs de blé se demandera quel type d'édifice est le plus solide, et il variera en conséquence ses procédures de constructions pour trouver la réponse à ce problème d'optimisation (en l'occurrence il s'agit du tétraèdre, systématiquement découvert par les sujets de niveau III).

Bien sûr, aux niveaux II et III, les constructions envisagées, la compréhension des équilibres qui les caractérisent ou encore la conception des co-possibles (des possibilités simultanées entre lesquelles le sujet pourra choisir) sont partiellement dépendantes du développement opératoire. Mais cela ne signifie pas « que la composition de relations nouvelles engendrées par la comparaison des variations antérieures se réduise aux compositions propres à la logique des relations et à ses structures » (p. 119). Les relations les plus hétérogènes, et pas seulement opératoires, peuvent être établies par le sujet entre ses actions, les aspects figuratifs de ses constructions, des liaisons spatiales précises, des rapports de causalité, etc. Piaget parle même d'une sorte de « magma relationnel » d'où « naissent les possibles » (p. 120).

Dans cette évolution, qui part des possibles hypothétiques puis actualisables, pour aboutir aux « possibles d'optimisation » en passant par les possibles de perfectionnement, apparaîtraient « deux facteurs de l'équilibration, la production des nouveautés et les améliorations compensatrices [...] qui ne sont pas indépendants, mais solidaires dès le départ » (p. 120).



Il vaut la peine là aussi de citer un peu plus longuement la suite, tant il est vrai que l'on y voit poindre une analyse de l'activité psychologique toute tendue vers la mise en évidence de son caractère créateur et actif (qui contredit donc tant l'innéisme que l'empirisme) :

Dès les débuts [...] les « surcompensations » de relations ne sont qu'en partie aléatoires et sont, globalement tout au moins, dirigées par un besoin d'exploration qui choisit déjà le plus « intéressant » (au sens de Dewey et de Claparède), ce qui est une sorte de choix, mais portant naturellement surtout sur des variations extrinsèques. Réciproquement avec le progrès des améliorations, les choix sont encore sources de relations nouvelles mais de plus en plus centrées sur les variations intrinsèques. C'est donc spécifiquement cette « dynamique du possible » qui rend compte de l'unité fonctionnelle de la création des nouveautés et des améliorations (pp. 120-121).

On a à nouveau ici un indice très clair de ce déplacement d'attention théorique à l'œuvre dans les travaux expérimentaux conduits par l'auteur dans les années 70. Ce déplacement le rapproche, mais alors avec tout l'acquis des études sur la « genèse des structures », de cette psychologie de la pensée à laquelle se rattachaient Claparède et bien d'autres psychologues du début du XX^e siècle, et que le paradigme de l'« *information processing theory* » a revalorisé dès les années 60.

Chapitre X : Un cas de possible déductible (avec L. Miller et J. Reschitzki)

Après avoir rappelé comment les possibles, après être produits principalement par successions analogiques, le sont de plus en plus au moyen de déductions, Piaget annonce que ce chapitre portera pour l'essentiel sur l'analyse des étapes du possible déductible.

a. Le problème

Le sujet a à disposition plusieurs jeux de six cubes dont deux faces opposées sont vides et les quatre autres pourvues d'un petit rond rouge. Il reçoit en plus une poupée de même hauteur que les cubes. Puis il est successivement confronté à quatre tâches, dans lesquelles il doit placer les cubes de telle manière que la poupée, qui ne peut pas voir le dessus des cubes (puisque'elle est de même grandeur), puisse observer, sans se déplacer, le plus possible de points rouges, ou au contraire le moins possible de points, ou encore, mais cette fois en se déplaçant, le plus possible de points rouges ou au contraire le moins possible de points.

¹¹¹ On voit poindre ici chez Piaget un intérêt ne portant plus exclusivement sur les connaissances et même les savoir-faire, mais également sur « l'état moteur ou conatif » de l'activité psychologique.



b. Résultats

Au niveau I, la production d'un possible résulte avant tout d'une constatation immédiatement antérieure, qui suggère donc une nouvelle action. Trois conditions d'une production de possibles par déduction sont absentes de ce niveau I : 1. il faut qu'il y ait anticipation d'une variation possible, et non seulement reproduction d'une action déjà faite (le sujet considère que le seul possible est celui qu'il vient d'actualiser) ; 2. une variation de deux possibles ayant été découverte sur un cube, il faut que le sujet transpose cette variation aux autres cubes ; 3. enfin il faut que le sujet puisse comparer les constructions successives.

Le niveau II au contraire se caractérise par la possibilité d'anticiper des co-possibles (un sujet peut ainsi prévoir quatre actualisations de possibles à partir d'un principe commun pour que la poupée voie le minimum de points sans se déplacer). Le problème posé alors est celui de « rendre compte des inférences [permettant d'anticiper les co-possibles] par le progrès des possibles » (p. 123). Disons tout de suite que la solution esquissée est peu claire.

Certes, Piaget commence par centrer le problème sur la question du « passage des variations extrinsèques tirées par abstraction empirique des observables constatées aux variations intrinsèques dues à des abstractions réfléchissantes à partir des compositions d'actions » (id.). Il donne aussi comme exemple le cas du même sujet qui, pour la première tâche, se souvenant qu'il y a des ronds derrière les cubes que perçoit la poupée « trouve subitement l'idée de tourner de [45] degrés le cube [...] pour qu'on voie deux ronds sur chaque plot » (p. 130 ; cette rotation a pour effet de placer l'arête d'un cube en face de l'enfant). Ce serait cette action qui rendrait « le résultat déductible, sa lecture résultant alors d'une abstraction non pas empirique mais pseudo-empirique », (p. 130 ; « pseudo-empirique » parce que c'est le sujet qui introduit de l'ordre dans la situation).

Les sujets de ce niveau pourront non seulement engendrer de nouveaux possibles par transposition de procédures d'une construction ou d'une situation à la suivante, mais aussi engendrer « un nouveau type d'ouvertures sur les possibles ultérieurs, fondé sur leur composition elle-même » (p. 131). L'auteur donne l'exemple d'un sujet qui, après avoir placé les cubes pour que la poupée mobile voie le plus de points rouges possibles, se borne à tourner la poupée pour qu'elle en voie le moins possible.

Dès lors, Piaget croit pouvoir déduire de ces remarques non seulement la thèse selon laquelle « les inférences et compositions opératoires propres à ce niveau II ne constituent qu'un système particulier au sein d'un ensemble plus large qui a pour domaine la multiplication des possibles rendus actualisables à partir de la formation des co-possibles », ce qui est en effet un apport de cette étude sur l'évolution des possibles ; mais aussi la thèse, selon nous plus sujette à caution, selon laquelle les structures opératoires « apparaissent ainsi comme une résultante du développement général des possibles » (p. 131) quand bien même, une fois constituées, ces structures interviennent à l'intérieur de la production des possibles.

Comment oublier pourtant qu'au point de départ des co-possibles, il y a une action et ses résultats, ainsi qu'un processus d'abstraction pseudo-empirique ? Encore une fois, la dialectique de l'évolution des possibles et de la construction des opérations ne se laisse pleinement saisir, semble-t-il, que si l'on a en vue non seulement l'étape



finale de cette construction, mais aussi les actions et les préopérations, précurseurs de ces opérations.

Chapitre XI : Constructions d'arrangements spatiaux et d'équidistances (avec E. Mayer et M. Levy)

a. Le problème

Etant donné un matériel de jeu composé de maisons rectangulaires, d'églises et d'arbres, l'expérimentateur demande aux enfants soit de disposer ce matériel comme ils le veulent, soit, pour un autre groupe de sujets, de faire en sorte que les maisons se trouvent à égale distance d'un point central (un arbre par exemple).

b. Résultats et conclusion

En ce qui concerne la situation dans laquelle les enfants peuvent disposer librement les objets qu'on leur présente, il apparaît que le processus des « successions analogiques » caractéristique du niveau I aboutit à un « foisonnement précoce de possibles » (p. 136), d'une richesse comparable « à celle du niveau des différenciations dirigées avec une part croissante d'inférences » (p. 135). Cette richesse s'explique par le fait que le jeune sujet qui s'engage dans une réalisation est très vite confronté à des problèmes de choix, même peu conscients : faut-il mettre cette maison à gauche d'une autre, etc. ? Ceci le conduit, sans qu'il le recherche, à engendrer des possibles, alors partiellement canalisés par les propres finalités ou contraintes (par exemple de symétrie) qu'il se fixe dans le courant de son action.

Par contre, pour la situation dans laquelle on demande aux enfants de mettre les maisons de telle sorte qu'elles soient toutes à la même distance par rapport à un point, on retrouve les caractéristiques des précédentes recherches.

Au niveau I, les enfants, qui savent mettre deux maisons à une distance égale par rapport à un arbre, tentent de résoudre le problème pour un nombre plus grand en serrant les maisons les unes contre les autres, comme si cela permettait de leur conférer cette « propriété globale d'équidistance par rapport à l'arbre » (p. 139 ; on retrouve ici la notion d'enveloppe dont il était question dans les recherches sur la généralisation). Au début, ils se contentent de mettre les maisons en ligne droite. Mais ensuite, ils peuvent décider de remplacer l'alignement rectiligne par des courbures ou des zigzags. Ou encore, ils peuvent rapprocher ou au contraire éloigner de l'arbre le groupe de maisons conçu comme formant un tout.

A un niveau intermédiaire (IB), les enfants voient bien que les différents enveloppés ne sont pas équidistants par rapport à l'arbre. Ils produisent alors de nouveaux possibles, par exemple en dissociant le groupe unique de maisons en sous-groupes placés d'abord de manière quelconque, mais avec l'idée que chaque sous-groupe est à la même distance de l'arbre que chacun des autres. Puis il y a l'essai d'introduire une symétrie entre les sous-groupes et l'arbre, celui-ci tendant alors à occuper le



centre de la construction. Une autre solution intermédiaire consiste aussi à négliger la consigne en prenant un arbre pour chaque sous-groupe, et en plaçant chacun d'entre eux à égale distance de son sous-groupe respectif. La progression des solutions intermédiaires est liée à celle de la notion d'équidistance.

C'est vers 7-8 ans en moyenne, donc dès le niveau IIA, que les sujets découvrent par tâtonnement la bonne solution (l'arbre au centre, avec autour les maisons formant un cercle). Au niveau III enfin, les sujets affirment d'emblée que la solution est nécessairement un cercle, et que par ailleurs il y a un nombre indéfini de possibles (la distance au centre pouvant être aussi grande que l'on veut).

Finalement, dans ses conclusions, Piaget observe que la progression des procédures par lesquelles le sujet engendre de nouveaux possibles passe par différentes étapes, qui vont de pair avec les modifications de la notion d'équidistance. Cette recherche met particulièrement en lumière la façon dont buts et moyens se modifient à travers ces étapes, l'invention d'un nouveau but conduisant à engendrer de nouveaux moyens, et vice versa. Par exemple, utiliser des alignements courbes et non pas seulement linéaires peut amener au nouveau but de rapprocher les maisons de l'arbre, et cette notion de « plus près » peut à son tour « suggérer des symétries qui se prolongent elles-mêmes en relations ' autour ' » (p. 148).

On touche là à ce qui est peut-être la conclusion la plus intéressante de ce chapitre, mais qui porte moins directement sur la question des possibles que sur celle de la résolution des problèmes, dont la psychologie cognitive était friande dans les années 70 : s'il y a production de nouveaux possibles procéduraux, « c'est que le but se précise et donc se modifie en cours de route, et cela en fonction des moyens eux-mêmes utilisés pour l'atteindre » (p. 149). En abordant à son tour une nouvelle fois la question de l'intelligence pratique et en la liant à la question de l'évolution des possibles, l'auteur aboutit à une conception de la résolution de problèmes qui, par-delà les travaux de l'« *information processing theory* », retrouve la veine de l'ancienne psychologie de la pensée (Selz, etc.), mais enrichie de tout l'apport des acquis méthodologiques et théoriques de la psychologie génétique.

Quant à l'ultime conclusion tirée des observations exposées dans ce chapitre, elle est une confirmation de ce qu'ont montré les recherches précédentes au sujet du rapport entre l'évolution des possibles et le développement des structures opératoires. Cette recherche comme les précédentes souligne le rôle indispensable du développement procédural comme « cadre général au sein duquel se constitueront les opérations par coordinations progressives du possible et du nécessaire » (p. 149).

Chapitre XII : La construction des triangles (avec I. Berthoud-Papan-dropoulou et H. Kilcher)

a. Le problème

Le sujet doit construire soit par le dessin soit avec des bouts de fil de fer ou de spaghetti tous les triangles qu'il juge possibles. Cette recherche, très simple en son principe mais qui comporte différentes situations, devrait permettre de mettre en



lumière les relations entre schèmes procéduraux et schèmes présentatifs (l'idée de triangle), entre procédures et opérations, entre possibles analogiques et déductifs ou encore entre variations extrinsèques et intrinsèques.

b. Les résultats

Lors d'une toute première étape (4-5 ans) qui se déroule alors même que la notion de triangle n'est pas encore acquise, l'enfant auquel on a demandé de copier le modèle d'un triangle dessine (ou fabrique avec des spaghetti) des formes qui sont en général des quasi-triangles non fermés en un de leur sommet ou des sortes de quadrilatères. Ce refus de dessiner des objets à trois côtés proviendrait d'une pseudo-nécessité attachée à la notion de formes (topologiquement) fermées, qui, pour le sujet, ne peuvent être que des quadrilatères ou des cercles.

Dès l'acquisition, au niveau IA, d'une première notion de triangle, l'enfant identifie cette forme au schème présentatif du toit, en commençant son dessin ou sa construction à partir du sommet, c'est-à-dire en visant à produire d'abord la forme d'un angle. Une fois ce toit réalisé, le sujet juge qu'il ne peut pas trouver d'autres solutions possibles (tous les toits ont la même forme). Seulement le schème présentatif qui guide son action aboutit généralement à des dessins incomplets. Une fois l'angle du sommet construit, il reste à relier ses deux extrémités, ce qui ne va pas de soi à ce niveau : le trait de base n'arrivant pas au bon endroit, le sujet peut par exemple fermer le triangle au moyen d'un quatrième segment de droite. Le sujet du niveau IB se sortira de cette difficulté en variant la procédure de construction du toit, en particulier en corrigeant l'inclinaison des pentes ; mais des contraintes pseudo-nécessaires continuent à limiter la production des possibles (par exemple, la pseudo-nécessité pour le triangle formé par le toit d'être isocèle).

Dès 7-8 ans par contre, ces limitations sont dépassées. De plus le sujet commence par construire la base du toit avant de tracer ses deux pentes, cela pour assurer leur jonction parfaite avec les extrémités de celle-là. L'avantage de cette procédure est qu'une fois la base posée, le sujet a le choix de tracer des côtés de longueur quelconque, la seule condition étant qu'ils se rejoignent au sommet du toit. En procédant ainsi avec une liberté plus grande, les enfants ne tardent pas à découvrir les multiples variations leur permettant d'engendrer différents triangles (variation des longueurs, permutation des côtés, etc.).

Au niveau III, les sujets découvrent qu'il n'est pas possible de décrire tous les triangles. Il y a plusieurs familles possibles, avec dans chacune des triangles tous différents, mais aussi des variations qui font sortir la forme de la classe des triangles (par exemple si on choisit un angle nul, il n'y a plus un triangle mais une droite).

En conclusion, cette recherche montre comment l'ouverture sur de nouveaux possibles peut être alternativement engendrée par des modifications, soit du schème présentatif du triangle, soit des schèmes procéduraux qui permettent de le construire¹¹².



Chapitre XIII : Construction de formes par utilisation du compas (avec C. Voelin et E. Rappe du Cher)

a. Le problème

L'expérimentateur demande au sujet ce qu'il peut faire avec un compas. Une fois que celui-ci a tracé une forme à l'aide de cet instrument, il lui demande s'il peut faire encore autre chose.

b. Les résultats

Ce dernier chapitre n'apporte pas de conclusions nouvelles par rapport aux précédents. Les réponses des enfants des trois niveaux I, II et III sont proches de celles obtenues dans le cas de la recherche sur les triangles. Au début, le sujet, qui sait se servir d'un compas ou qui le découvre lors de l'expérience, ne relie pas la trace laissée par l'instrument avec la marque laissée par la pointe du compas sur la feuille. Il se centre sur le rond considéré dans sa globalité. Par ailleurs, il n'a pas l'idée de composer différents cercles ou segments de cercles les uns avec les autres.

Dès le niveau II par contre, les enfants commencent à mettre en relation le rond avec la pointe du compas. Celle-ci est au milieu du cercle. Certes ils croient possible, vers 7-8 ans, de tracer des formes comportant des droites, comme un triangle par exemple. Cependant, en découvrant que la pointe du compas fait office de centre de rotation du cercle, et que celui-ci est plus ou moins grand selon l'ouverture donnée à l'instrument, ils découvrent du même coup différentes variations intrinsèques leur permettant de déduire de nouveaux possibles, et ils en arrivent aussi à composer différentes formes produites, y compris en déplaçant le compas (création d'un trèfle, etc.). Enfin, le niveau III se caractérise par l'ouverture illimitée des possibles, à la fois en compréhension (on peut tracer à peu près n'importe quelle forme, sauf celles qui contiennent des segments de droite), et en extension.

Conclusions générales

Trois problèmes généraux sont considérés dans ces conclusions. Le premier est celui des relations entre l'évolution des possibles et le développement des structures opératoires sur lequel Piaget est constamment revenu au cours des chapitres précédents ; le second porte sur les rapports entre le possible, le réel et le nécessaire au cours du développement cognitif général de l'individu ; enfin le troisième porte sur les rapports entre l'évolution des possibles et l'équilibration.

a. L'évolution des possibles et la construction des structures opératoires

L'ensemble des résultats exposés dans cet ouvrage montre un « parallélisme frappant » (p. 177) entre les étapes de l'évolution des possibles et la genèse des opérations. Aux possibles (par successions) analogiques du niveau I correspondent, du point de vue des opérations, l'absence de réversibilité, d'inférences systématiques et de fermetures. Aux co-possibles concrets du niveau IIA correspond le début des opérations concrètes, et aux co-possibles abstraits du niveau IIB, leur achèvement. Enfin, aux « co-possibles quelconques et en nombre illimité » du niveau III correspondent les opérations hypothético-déductives du stade formel (id.).

Dès lors la question est posée de savoir si c'est l'évolution des possibles qui entraîne le développement des opérations ou l'inverse. Certes Piaget admet la possibilité d'une interaction entre les deux termes. Au premier stade notamment, on peut aussi bien concevoir que le mode analogique de composition des possibles et l'hétérogénéité des relations entre ceux-ci expliquent le « manque d'opérations » que l'inverse (p. 178 ; notons pourtant que, pour ne pas biaiser la solution, il aurait mieux valu parler du caractère lacunaire des compositions d'actions ou de préopérations esquissées à ce stade). Mais ce qui conduit l'auteur à privilégier la thèse du primat de l'évolution des possibles sur le développement des opérations, du moins à ce niveau, c'est le fait « positif » que « l'ouverture sur les nouveaux possibles témoigne d'une activité accommodatrice, de choix ou d'enchaînements de formes multiples, de régulations, etc., qui fourniront les matériaux dont pourront se servir les opérations naissantes » (id.). Notons néanmoins que l'on peut tout autant admettre que les compositions élémentaires d'actions qui apparaissent dès ce niveau lors de la résolution de problèmes sont elles aussi bénéfiques à l'évolution des possibles, dans la mesure où elles permettent la création de nouveaux possibles.

Par contre, Piaget est sans doute dans le vrai lorsqu'après avoir pris connaissance de la diversité et de la multiplicité des possibles engendrés par le sujet, il conclut à l'existence d'un « cadre général » fourni par ces derniers et dans lequel le développement des opérations s'effectue. Le mode de composition des possibles est en effet bien plus large que le mode de composition des opérations, puisque le premier n'a pas à obéir à des règles contraignantes assurant l'équilibre des compositions. En d'autres termes, si les compositions opératoires sont nécessaires, « on voit mal comment le nécessaire engendrerait le contingent » caractéristique des compositions aboutissant aux co-possibles (p. 179). Au contraire, le problème des rapports entre le possible et les opérations se simplifie « si l'on se demande [...] à quelles conditions le sujet, en possession de ce cadre élargi, en arrive à y différencier ces formes spécifiques et susceptibles de fermeture que sont les transformations opératoires » (id.). Mais la réponse que l'auteur apporte à cette dernière question semble révéler à nouveau une sous-estimation du rôle des actions et de leur coordination. Il suggère en effet « que les opérations seraient tirées, non pas des co-possibles comme tels, en leurs multiples contenus demeurant analogiques, mais de l'acte inférentiel lui-même les engendrant [...] et se prêtant, en tant qu'activité de réunion supérieure à celle des simples successions de proche en proche, à des abstractions réfléchissantes et à des généralisations complétives pouvant conduire aux opérations » (id.).



L'affirmation précédente, comme d'autres qui la développent, est importante. Elle révèle un déplacement considérable de centration intellectuelle de la part de Piaget. Ce ne sont plus des actions et leurs coordinations qui sont préférentiellement considérées, mais des « actes inférentiels ». Ce déplacement de l'attention s'esquissait déjà dans les travaux précédents sur l'abstraction réfléchissante, la généralisation complétive, etc. Mais il subsistait alors un certain équilibre entre le rôle explicatif prêté aux actions et le rôle explicatif prêté à la pensée en ses « coordinations inférentielles » (alors que dans les décennies précédentes, on peut admettre que ce qui touchait à la « logique des significations » avait été mis entre parenthèses, exception faite des textes d'épistémologie de la psychologie). On peut dès lors se demander si, tout en explicitant avec raison l'intervention de la pensée dans le déroulement des procédures, l'auteur ne sous-estime pas trop le rôle des actions et de leurs compositions, qui comportent bien sûr des choix et des décisions portant sur des possibles, mais qui restent certainement la source des opérations logico-mathématiques¹¹⁵. De même lorsqu'il affirme un peu plus loin que « l'acte d'anticiper plusieurs possibles à la fois peut devenir, en tant qu'activité de mise en relation, la source de connexions généralisables et réglables prenant de ce fait la forme de classes ou de séries » (p. 180), il retrouve et explore plus avant cette notion d'activité intellectuelle que son maître Brunschvicg avait placée au centre de sa philosophie de l'esprit. Cette prise en considération de l'activité intellectuelle est certainement féconde et même nécessaire ; mais elle ne devrait pas se faire au détriment de la portée explicative des actions et de leurs coordinations.

Cela dit, si les mises en relation des possibles peuvent contribuer à la construction des opérations, c'est à la condition « de compléter le système des ressemblances et des différences, seul en jeu dans la formation des possibles, par celui des affirmations et des négations, indispensables aux opérations » (p. 180). On retrouve ici l'évocation d'un mécanisme dont les travaux sur la contradiction avaient montré l'importance dans l'équilibration des structures opératoires, à la différence près que maintenant, c'est presque exclusivement la logique des significations que Piaget a à l'esprit (par exemple, l'action de soustraction intervenant dans la logique des classes tend ici à être réduite à la seule activité de négation logique portant sur des significations). Notons pourtant que le mouvement théorique accompli ici, s'il est peut-être un peu trop radical, est nécessaire, puisque l'une des particularités des structures opératoires et de leurs précurseurs au niveau de l'intelligence sensori-motrice est de concevoir simultanément, dans un même acte de compréhension, les opérations directes et inverses.

Après s'être fortement reposé sur le passage du niveau I au niveau IIA pour appuyer la thèse selon laquelle les opérations auraient leur source dans des compositions de co-possibles, ou du moins que les possibles et co-possibles fourniraient le cadre initial dans lequel ces opérations peuvent être construites, Piaget se demande si, une fois acquises les opérations, il n'y aurait pas renversement de rôle, comme semblerait le suggérer le passage du niveau II au stade III : si le sujet est capable de prévoir des co-possibles à la fois quelconques et en nombre illimité, c'est peut-être parce qu'il est capable de déduire opératoirement des ensembles illimités de possibles. Mais pour

¹¹² Notons entre parenthèses que l'opposition établie ici entre schème présentatif et schème procédural n'est peut-être pas à prendre trop radicalement. Conformément à ce que soutenait Kant, la compréhension du concept de triangle pourrait bien être, ou du moins rester partiellement attachée à l'action de tracer une telle forme, ou au procédé perceptif par lequel nous reconnaissons celle-ci (procédé qui réalise aussi une forme de tracé).



se prononcer sur cette question, l'auteur va examiner de plus près l'évolution des rapports entre le réel, le possible et le nécessaire.

b. Les rapports entre le possible, le réel et le nécessaire

Les résultats des recherches précédentes montrent qu'au premier niveau de leur évolution (vers 4-6 ans), le réel, le possible et le nécessaire sont largement indifférenciés : « le réel perçu ou manipulé apparaissant comme devant nécessairement être tel qu'il est, et comme demeurant par conséquent le seul possible, à part la marge des variations admises comme réalisables du fait qu'elles ont déjà été observées et font donc encore partie d'un secteur de ce réel indifférencié » (p. 181). Quant aux nombreuses pseudo-nécessités auxquelles se heurte la pensée de l'enfant (mais que l'on retrouve sur le plan supérieur du développement de la pensée scientifique), Piaget émet deux remarques à leur sujet. D'abord il rappelle que leur dépassement est la preuve de « réelles ouvertures » sur de nouveaux possibles. Ensuite il observe que les limitations induites par leur présence sont dues au fait qu'en cette indifférenciation initiale le réel, le possible et le nécessaire se bloquent mutuellement dans leur évolution.

S'interrogeant sur ce blocage initial du réel, du possible et du nécessaire, il constate alors que les deux derniers termes sont des « produits des activités du sujet » (p. 182), alors que le premier existe indépendamment du sujet (cette dernière affirmation doit certainement être entendue au sens du réalisme critique selon lequel, si le sujet n'a pas d'accès direct au réel absolu, il peut néanmoins le connaître par l'intermédiaire des cadres a priori qu'il construit à cet effet). Dès lors si blocage il y a, il ne peut provenir que « de l'insuffisance des activités du sujet quant aux possibles et à la nécessité », le réel tel que le considère le sujet étant alors doté de « privilèges abusifs » ou de « pseudo-nécessités » (id.). Ce n'est que lorsque la « nécessité authentique reposant sur des systèmes de transformation [et fruit d'] une coordination entre les possibles » aura été acquise que le réel objectif sera atteint et que la formation des possibles ne sera plus limitée (pour un domaine particulier) par les pseudo-nécessités de départ. Au sujet de ces dernières, notons encore cette remarque, qui est une ouverture vers un ultime ensemble de recherches que Piaget ne pourra hélas pas conduire à leur terme : si les pseudo-nécessités échouent à dégager les raisons d'une réalité, leur présence « indique que le sujet croit qu'il en existe » (id.).

Si le premier niveau d'évolution se caractérise par une indifférenciation et un blocage mutuel du réel, du possible et du nécessaire, ce n'est qu'avec leur différenciation que seront fournies les conditions d'existence des opérations, dans la mesure où celles-ci exigent « une synthèse du possible et du nécessaire, l'un exprimant leur liberté procédurale et l'autre l'autorégulation et la fermeture de leurs compositions » (p. 183). Ce que suggèrent les résultats de cette première étude sur le possible et le nécessaire est que leur synthèse ou coordination progressive, ou encore que la convergence entre l'évolution des possibles et l'acquisition des opérations, se fait par « un passage du global au spécial » (id.). Par contre, une fois relativement achevé ce développement convergent des possibles et des opérations, qui se caractérise par la différenciation et l'intégration du possible et du nécessaire, le co-possible quelconque et illimité du stade III « finit par se confondre avec le pouvoir hypothético-déductif des opérations formelles » (id.). En d'autres termes, les conditions qui rendent possible l'apparition des opérations expliquent également que, finalement, les co-possibles puissent



être déduits au moyen des instruments opératoires de la pensée formelle (encore que même à ce niveau le champ des possibles continue à englober les activités opératoires qui ne sont qu'une composante, certes essentielle, du fonctionnement de la pensée de l'adolescent et de l'adulte).

Après avoir répondu à la question du rapport final (sur le plan du développement cognitif de l'enfant) entre l'évolution des possibles et l'acquisition des opérations, Piaget termine ce premier ouvrage sur le possible et le nécessaire par l'examen des mécanismes par lesquels se réalise l'évolution des possibles dans ses rapports avec le réel et le nécessaire.

c. Evolution des possibles et équilibration

Les résultats généraux des recherches sur l'évolution des possibles enrichissent ou renouvellent de deux points de vue le modèle de l'équilibration par lequel Piaget explique la genèse des connaissances chez l'enfant et dans les sciences : premièrement, le point de vue de la généralisation de ce modèle à l'évolution du possible, et deuxièmement, celui de la réponse apportée à la question centrale de savoir « par quel mécanisme les rééquilibrations cognitives conduisent-elles simultanément et nécessairement à des compensations et à des productions de nouveautés, donc à une équilibration 'majorante' » (p. 184).

En ce qui concerne le premier point, l'auteur observe que le développement des opérations étant maintenant rattaché à cette évolution qui l'englobe, l'un comme l'autre se subordonnent dès lors « à la troisième de nos grandes formes d'équilibration » (p. 184), portant sur les différenciations et les intégrations. Or l'équilibre entre ces deux aspects de base du fonctionnement cognitif est « bien affaire de compensations en même temps que de constructions, puisque trop de différenciation menace la cohérence du tout et que trop d'intégration freine la différenciation » (id.).

Mais c'est surtout le deuxième apport qui paraît novateur à Piaget dans la mesure où la « dynamique de l'équilibration des possibles » (p. 185) serait la clé du caractère majorant des équilibrations cognitives. La naissance de tout nouveau possible présenterait en effet « le double aspect d'une conquête actualisable et de l'acquisition d'un pouvoir tendant à s'exercer et devenant donc source de déséquilibre tant qu'il n'a pas conduit à une nouvelle conquête » (id.). Certes Piaget remarque que cela vaut pour tout schème, qui tend dès son acquisition à exercer son pouvoir d'assimilation. Cependant, l'acquisition d'un nouveau possible a cela de particulier que son actualisation implique un choix, d'où résulte, dès que le sujet en prend conscience, l'ouverture vers d'autres possibles. De plus, les expériences faites par le sujet lors de la formation de possibles feraient que, placé face à une situation radicalement nouvelle pour lui, il n'est plus complètement innocent et sait que, si des solutions ont été trouvées dans d'autres contextes, il est possible qu'il en découvre aussi pour ce nouveau cas, même s'il ne parvient pas d'avance à les imaginer (on voit que l'auteur

¹¹³ Il est très peu probable que Piaget ait abandonné cette thèse d'une filiation entre les coordinations d'actions et les compositions opératoires. Il est plus vraisemblable que le problème que nous rencontrons dans cet ouvrage sur l'évolution des possibles soit la conséquence d'une coordination encore insuffisamment réglée entre les nouvelles thèses esquissées ici et les précédentes.



n'ignorait pas complètement le rôle que peut jouer dans les constructions cognitives ce qu'aujourd'hui on appelle la « métacognition »).

Ce qu'a ainsi de spécifique l'évolution du possible par rapport à tout autre développement est son caractère foncièrement ouvert. Le possible est essentiellement un pouvoir qui, en tendant à s'exercer, « s'impose à lui-même la production de variations donnant prise à cet exercice, d'où une formation endogène de nouveaux possibles » (p. 187).

Cela dit, deux problèmes se posent avec cette nouvelle et séduisante interprétation du constructivisme. Le premier est lié à cette affirmation selon laquelle seul le possible trouverait en lui un le moteur pour engendrer de nouveaux possibles, en l'occurrence la lacune que peut ressentir le sujet lorsque « l'exercice de ses pouvoirs n'est pas entretenu » (p. 187). Piaget va même jusqu'à mettre sur le même plan, pour les opposer à la lacune créatrice liée au possible et qui serait interne au sujet, les perturbations ou les limitations qui proviennent non seulement de l'objet physique mais aussi de « l'objet logico-mathématique » ! Il n'y aurait donc de moteur interne de dépassement que dans ce pouvoir diffus de tenter quelque chose, de tendre vers de nouveaux possibles. Certes cette source interne de création de nouveautés est importante, voire primordiale. Mais on ne saurait oublier pour autant les lacunes internes des structures opératoires successivement construites par le sujet, lacunes qui conduisent à ces généralisations complétives étudiées quelques années auparavant. En tant qu'inhérentes au sujet, ces structures ne sont pas à confondre avec les « objets logico-mathématiques » que conçoit le mathématicien, même si, comme le veut le constructivisme, un lien fondamental les réunit.

Quant au deuxième problème, il ne tient plus au moteur qui pousse le sujet vers des horizons toujours renouvelés de possibles, mais à la majoration que manifeste l'équilibration du système cognitif. Certes, toute différenciation induite par l'acquisition de nouveaux possibles appelle une intégration la compensant et garantissant la cohérence du tout. Mais ce besoin de cohérence ne saurait être imputé au possible (c'est plutôt l'exigence de nécessité qui intervient ici). Bien plus, ce besoin ne saurait expliquer à lui seul la possibilité de majoration qui est la marque, sinon du biologique, du moins du cognitif. En ce qui concerne cette majoration, son explication reste celle d'une régulation ou d'un équilibre entre affirmation et négation, ou entre action directe et action inverse, qui a été mise en évidence dans les travaux antérieurs, et notamment ceux sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation complétive. Resterait bien sûr à expliquer encore l'exigence de cohérence interne au système cognitif et qui prolonge peut-être une propriété essentielle de la vie. C'est peut-être, encore une fois, parce qu'il restait là un point à clarifier que Piaget a décidé de mettre au programme du CIEG cette recherche sur les raisons qu'il n'a pu hélas mener à terme.

Enfin, un dernier point de ces conclusions mérite d'être signalé. Il s'agit de la façon dont, dans le dernier paragraphe, l'auteur réunit pour la première fois l'activité du sujet psychologique à l'évolution du sujet épistémique (alors que jusqu'alors il avait tendance à refuser de considérer l'intervention du sujet psychologique dans l'explication du développement cognitif). C'est à travers les procédures d'un sujet psychologique éprouvant des besoins et étant doté de pouvoirs particuliers, dépendant de son histoire personnelle, que se réalisent le processus de rééquilibration majorante et les activités structurantes et organisatrices du sujet épistémique. Il faut de plus distinguer au sein de ce sujet psychologique ce qui lui est singulier et ce qu'il partage de commun avec les autres individus, de telle sorte que, comme le montrent



« les travaux actuels de B. Inhelder » (p. 188), il convient de substituer la trichotomie de l'individuel, du psychologique commun et de l'épistémique « intemporel et exclusivement implicatif » à la dualité du psychologique et de l'épistémique. On observera ainsi l'hommage discret que Piaget formule envers sa plus proche collaboratrice, qui n'a jamais perdu de vue la composante psychologique et individuelle dans le fonctionnement de l'intelligence humaine. Quant à l'épistémique, la question subsiste de savoir jusqu'où il convient de remonter dans la psychogenèse (et la sociogenèse) pour en trouver les premiers germes. L'enfant de huit mois qui acquiert la première notion de réalité objective et qui parvient à y attacher de premières implications signifiantes peut-il être déjà reconnu comme un sujet épistémique ? Laissons ouverte cette question sur laquelle Piaget ne s'est pas suffisamment penché, et cela même s'il esquisse peut-être ici une réponse négative en liant ce sujet à la notion d'« exclusivement implicatif ».







9. Le possible et le nécessaire. II : L'évolution du nécessaire chez l'enfant

Introduction

Comme l'annonce Bärbel Inhelder dans la préface à ce deuxième volume exposant les recherches sur le possible et le nécessaire, Piaget n'a pas eu le temps de mettre la dernière main au manuscrit de *L'évolution du nécessaire chez l'enfant*. Une ultime révision a été apportée par Bresson et Grize, deux des plus anciens collaborateurs du Centre international d'épistémologie génétique. De plus, Piaget n'ayant semblé-t-il pas écrit d'introduction pour ce volume sur le nécessaire, Inhelder a utilisé à cet effet des extraits du texte de l'exposé qu'il avait donné dans le cadre des actes du 21^e Congrès international de psychologie, qui s'est tenu à Paris en 1976, et qui a été l'occasion pour la communauté internationale de psychologie de rendre un hommage au savant suisse à l'occasion de son 80^e anniversaire.

Publiée en 1978, cette conférence avait pour titre « Le réel, le possible et le nécessaire ». C'est essentiellement la partie concernant le nécessaire qui a été utilisée. Après avoir défini le nécessaire authentique (à distinguer des pseudo-nécessités attribuées au réel) comme le « produit des compositions inférentielles du sujet » (p. 6), Piaget y observait que son évolution est parallèle à celle du possible. A la première étape du possible correspondent des « nécessités locales dues aux compositions élémentaires déjà visibles aux plus hauts niveaux sensori-moteurs et se développant au plan des représentations préopératoires » (id.). Au deuxième niveau (stade des opérations concrètes), certaines « formes systématiques de nécessité » commencent à apparaître, liées à la récursivité, à la transitivité, aux conservations, etc. Enfin le nécessaire connaît son plein essor avec l'apparition sur le plan formel des opérations hypothético-déductives. Il n'y a d'ailleurs pas seulement parallélisme des évolutions, mais différenciation progressive du réel, du possible et du nécessaire, comme le premier volume sur le possible l'a montré ; puis « intégration en un système total tel que le réel apparaisse comme un ensemble d'actualisations parmi des possibles [et comme] subordonné aux systèmes de liaisons nécessaires » (p. 7 ; cette subordination du réel au possible et au nécessaire avait déjà été révélée lors des travaux sur la logique de l'adolescent et lors des études sur la genèse de la causalité opératoire)¹¹⁴.

¹¹⁴ Piaget prend soin de noter que cette subordination du réel au possible et au nécessaire ne débouche pas sur l'idéalisme subjectiviste, puisque le sujet fait partie du réel qui l'englobe (conformément au privilège des êtres vivants d'être à la fois objet et sujet).



Notons que la subordination du réel au nécessaire soulève un problème épistémologique bien connu des philosophes des sciences. Cette subordination est-elle illusoire (comme le soutenait Hume dans son *Enquête sur l'entendement humain*) ou a-t-elle une portée objective ? Nous prendrons ci-dessous connaissance de la position adoptée par Piaget face à cette question.

La thèse que celui-ci va plus particulièrement s'attacher à mettre en évidence dans cet ouvrage est celle de l'existence de « formes plus ou moins ' fortes ' de nécessités » (id.). Par « force », il faut entendre à la fois le nombre de relations nécessaires que comporte une structure, et la richesse en significations des contenus structuraux et de leurs liens (le jugement d'identité analytique $1 = 1$ est plus pauvre en significations que le jugement synthétique apriori selon lequel tout nombre a un successeur)¹¹⁵. On voit par là que, comparativement à l'étude du possible, celle de l'évolution du nécessaire nous ramène vers des régions familières de l'épistémologie et de la psychologie génétiques classiques, ce qui se comprend vu le lien étroit qu'il y a entre la notion de « nécessité authentique » (c'est-à-dire logico-mathématique au sens le plus large) et les structures de la pensée opératoire.

Chapitre I : Un problème de nécessité physique (avec R. Zubeil et E. Rappe du Cher)

Ce chapitre aborde d'emblée le problème épistémologique lié à la causalité physique que nous avons brièvement considéré précédemment. Si la nécessité relève des compositions opératoires, il n'en reste pas moins que le réel se prête à une attribution de modèles déductifs, et que quelque chose de l'ordre du nécessaire peut ainsi lui être attaché. Piaget propose deux notions qui permettront de cerner le rapport entre le réel et la « nécessité physique » dans les recherches où il sera question de causalité. La première est celle de « nécessitation » qu'il définit comme « ce dont la négation est matériellement impossible » (p. 10). On pourrait à titre d'exemple reprendre celui qu'utilisait déjà Kant pour opposer la causalité physique à la simple régularité empirique : l'impossibilité pour l'eau d'inverser son sens et de remonter la pente d'une rivière. Certes, il y a en partie nécessité, dans la mesure où le sujet utilise des coordinations inférentielles dans son assimilation du réel, ou lui applique un modèle dans lequel se trouvent des inférences. Mais cela ne suffit pas à justifier ce processus de nécessitation qui débouche sur des explications opératoires. Encore faut-il – et c'est la deuxième notion proposée par Piaget – qu'il y ait quelque chose comme du « nécessitable » au sein de la réalité, c'est-à-dire quelque chose qui permette un isomorphisme au moins partiel entre les opérations du sujet et les interactions entre objets.

¹¹⁵ On observera que, bien que s'adressant à un public de psychologues, Piaget n'hésite pas à recourir à des notions empruntées à Kant : le jugement synthétique apriori construit de nouveaux concepts ou objets logico-mathématiques (ici la série des nombres), contrairement au jugement analytique, par lequel le sujet ne fait qu'extraire une qualité ou un prédicat déjà contenu dans un objet ou concept (exemple du philosophe allemand : affirmer qu'un corps est étendu).



a. Le problème

Différentes situations très proches l'une de l'autre sont utilisées. Mentionnons-en une à titre d'illustration. L'expérimentateur dit au sujet que l'on va verser une goutte d'eau avec une pipette dans un verre en partie déjà rempli. Il lui demande si le niveau d'eau va changer dans le verre, et si oui, de tracer un trait indiquant le niveau actuel et un autre indiquant où l'eau arrivera (dans une deuxième situation, le trait de départ est marqué sur la pipette). Après constat, l'enfant doit expliquer pourquoi le niveau ne change pas, du moins en apparence.

b. Les résultats

Au niveau IA (4-5 ans), après avoir prévu un accroissement de la quantité d'eau, les sujets considèrent que les gouttes ne se mélangent pas avec le liquide présent dans le verre. Ils tendent alors à identifier les gouttes d'eau à de petits organismes vivants et à juger que celles-ci ne tombent pas dans l'eau, mais vont au fond du verre. Ils ne marquent dès lors aucune surprise face à l'apparente absence de changement du niveau d'eau dans le verre. De plus, ils tendent à généraliser ce résultat initial de non-changement à ce qui se passerait si l'on ajoutait d'autres gouttes avec la pipette.

Au niveau IB, les sujets admettent le mélange. L'ajout du liquide avec la pipette tend donc à prendre le sens d'une addition. Mais dès lors les sujets sont surpris par l'absence apparente de déplacement du niveau d'eau, et ils chercheront une explication : la goutte est trop petite pour ajouter quelque chose, ou bien alors, solution plus avancée qui annonce la conservation, le niveau d'eau s'est déplacé mais on ne le voit pas.

Au niveau IIA (7-8 ans en moyenne), on retrouve une réponse basée sur la conservation (ce qui est soustrait au point de départ est ajouté au point d'arrivée), mais le sujet n'éprouve pas de surprise lorsque l'expérience dément sa prévision sur une élévation du niveau d'eau, et il généralise aussitôt à toute situation comparable. En d'autres termes, il déduit immédiatement de cette première expérience que, si l'on ajoute une nouvelle goutte d'eau dans le verre, on pourra ne pas voir l'eau monter dans le verre, même si elle le fait forcément.

Au niveau IIB le sujet peut proposer des moyens pour vérifier le fait certain qu'il y a plus d'eau. On pourrait par exemple peser l'eau, ou bien projeter l'image du verre d'eau sur le mur, ce qui permettrait de rendre perceptibles d'invisibles changements de niveau.

Quant aux sujets les plus avancés (stade III), ils cherchent à expliquer pourquoi le changement de niveau reste invisible (la largeur de la goutte se distribue sur toute la largeur du verre...). La nécessité alors atteinte est plus étendue que celle liée aux réponses des niveaux précédents dans la mesure où un nombre plus grand de facteurs, notamment hypothétiques, sont introduits dans l'explication et reliés inférentiellement les uns aux autres.

En conclusion, Piaget observe que la nécessité propre au niveau IA n'en est pas une, parce que directement attachée à un fait. L'enfant base son jugement sur une sorte de principe qui pourrait se traduire par : « ajouter quelque chose à quelque chose, c'est



augmenter... ». Mais en l'absence de détermination des relations en jeu (ce qui est ôté dans la pipette vient s'ajouter dans le verre, etc.), ce principe se réduit en fait à une généralité empirique¹¹⁶. La véritable nécessité n'apparaît qu'avec le début de l'addition, mais sous une forme initialement limitée, dans la mesure où le sujet a besoin de s'appuyer sur le double constat qu'un peu de liquide enlevé de la pipette vient s'ajouter à l'eau contenue dans le verre, et dans la mesure où il ne maîtrise pas encore l'ensemble des relations en jeu. Un processus de nécessitation va dès lors se dérouler qui conduira le sujet à construire des modèles de plus en plus complets, avec une nécessité se renforçant d'un niveau à l'autre.

Finalement, Piaget considère la question de savoir pourquoi le processus de nécessitation peut aboutir, en d'autres termes de savoir ce qui rend possible un isomorphisme au moins relatif entre les modèles ou les coordinations inférentielles du sujet et le réel. Sa réponse reprend les thèses classiques de l'épistémologie génétique : le sujet tire ses « opérations » de ses actions psychobiologiques (donc d'une partie du réel), et il les compose selon des principes généraux revenant « à synthétiser les transformations et les conservations en systèmes susceptibles de fermeture » (p. 23). Or « ces principes [...], constituant les conditions de toute intelligibilité, se trouvent de ce fait être attribuables à tous les objets, physiques comme conceptuels ou mentaux, ce qui ne revient donc qu'à soutenir l'intelligibilité du monde réel » (id.). En d'autres termes, l'enquête psychogénétique confirme ce que l'histoire des sciences enseigne : le réel se prête aux déductions du sujet, et au processus de nécessitation. Les inférences de celui-ci à son sujet ne s'avèrent pas gratuites (ou pas complètement). De plus, comme le sujet est lui-même partie du réel, il faut admettre ce qui semble ici s'imposer : que le réel est foncièrement intelligible (il y a incontestablement un solide optimisme dans la conception que Piaget tire de l'histoire des rapports entre science et réalité).

Chapitre II : Le nécessaire et l'impossible en des compositions de rotations (avec A. Blanchet et D. Crapon de Caprona)

Dans la recherche précédente, les principes de conservation faisaient office de « médiateur » entre les systèmes logico-mathématiques et physiques¹¹⁷. Dans ce nouveau chapitre, un deuxième médiateur encore plus général apparaît avec l'espace et avec la géométrie, dont Piaget souligne une nouvelle fois le double statut par rapport aux sciences logico-mathématiques et aux sciences physiques. Le cas des rotations examiné dans ce chapitre en fournit une illustration.

¹¹⁶ Cette forme primitive de pseudo-nécessité rappelle la conception du philosophe David Hume qui, dans son *Essai sur l'entendement humain* (1748), croyait pouvoir réduire la nécessité attachée aux explications rationnelles à la simple force de l'habitude.



a. Le problème

Soit un objet fixé sur un cadre intérieur que l'on peut faire pivoter de haut en bas (ou inversement), lui-même fixé sur un deuxième cadre pouvant tourner de gauche à droite (ou inversement), deuxième cadre qui est lui aussi fixé sur un troisième support qui peut également pivoter de gauche à droite. En combinant judicieusement les rotations des trois cadres, on peut faire subir à l'objet des déplacements variés (par exemple, le faire revenir à son point de départ, d'abord par une combinaison, puis par une autre).

b. Résultats et conclusions

Au niveau IA, le sujet ne peut ni concevoir ni mettre en œuvre des compositions permettant de résoudre des problèmes, même très simples. Il sait tout au plus, après avoir fait subir une rotation à un objet, utiliser celle de sens inverse pour le ramener à son point de départ (mais il ne sait pas que deux rotations identiques ramènent pareillement l'objet à son point de départ). Les différents constats réalisés par le sujet au cours de ses essais ne le conduisent pas non plus à des découvertes et des généralisations empiriques¹¹⁸. A ce niveau on ne constate aucune nécessité, hormis celle reliant une rotation directe et son inverse.

Le niveau IB se caractérise par la compréhension du caractère involutif du cercle complet (deux rotations de même sens amènent l'objet à son point de départ). Il y a donc là une deuxième « nécessité locale » (p. 32). Les sujets commencent aussi à combiner empiriquement des rotations de deux cadres : à la suite de tâtonnements non dirigés, une rotation sur le plan vertical et une autre sur le plan horizontal aboutissent à des buts fixés par l'expérimentateur (déplacer l'objet en telle autre position), mais « sans anticipation ni généralisation ultérieure » sauf partielles (p. 32)¹¹⁹.

Au niveau IIA, il y a compréhension de la nécessité de coordonner des rotations gauche-droite et haut-bas pour atteindre certains résultats, mais sans que le sujet sache très bien quelle composition choisir. Dès lors un ou quelques essais doivent le plus souvent être conduits pour aboutir à la solution. Dans le langage adopté par l'auteur, il y a là une forme de « nécessité exigible ». Par ailleurs, contrairement aux enfants du niveau I, ceux de niveau IIA savent que l'objet ne se déplace jamais par rapport au cadre sur lequel il est fixé.

¹¹⁷ On notera au passage le terme de « système logico-mathématique » qui semble venir supplanter celui de « structure logico-mathématique » dans les derniers travaux du CIEG. C'est que dans la deuxième moitié des années 70 le structuralisme commençait à être sérieusement mis en question par des sciences humaines qui tendaient à privilégier les pratiques et la complexité systémique. Piaget a toujours pris soin d'insérer ses thèses dans celles partagées par la communauté scientifique de son temps, sans pour autant renier les premières. Cette attitude s'explique par le souci bien naturel de ne pas voir ses conceptions dépassées par de nouvelles idées, mais aussi par la conviction selon laquelle le développement des sciences est dépendant d'une coordination sociale des jugements et des méthodes.

¹¹⁸ Il est évident que cette expérience pourrait avoir été utilisée aussi bien dans les anciennes recherches sur le développement de la représentation de l'espace chez l'enfant que dans celles sur l'abstraction réfléchissante ou sur la généralisation. Les réponses des enfants sont très riches et nous n'en donnons ici qu'un pâle reflet.



Si au niveau IIA il y a « recherche empirique de compositions postulées comme nécessaires », les conduites de niveau IIB manifestent une apparente régression, dans la mesure où les sujets croient pouvoir anticiper les bonnes compositions sans aucun contrôle empirique, et cela alors qu'ils ne disposent généralement pas des compétences opératoires leur permettant de déduire les compositions de rotations. Au stade III par contre, les nécessités liées aux déductions les plus simples se retrouvent et s'amplifient dans la mesure où ils maîtrisent parfaitement l'effet des rotations en jeu.

Enfin, dans ses conclusions, Piaget s'interroge sur les rapports entre la nécessité intrinsèque à la géométrie opératoire du sujet et le « nécessitable propre à l'espace des objets » (p. 38). Il commence par rappeler que la géométrie du sujet est aussi, en son point de départ, une géométrie de l'objet, puisqu'elle s'effectue au moyen de déplacements du corps propre ou de ses membres, et qu'elle s'exerce par les actions de ce corps sur des objets matériels. Avec l'intériorisation des actions en représentations et en opérations, « la géométrie opératoire du sujet s'élargit indéfiniment et finit par englober et dépasser la géométrie et l'espace des objets » (p. 39). Il n'en reste pas moins que les expériences spatiales faites par le sujet à l'occasion de ses manipulations d'objets l'aident à construire les opérations géométriques (on se reportera sur ce point à la recherche sur les morphismes et les catégories). Il en va certes de même sur le terrain de la physique, où la découverte de certains phénomènes physiques entraînerait la construction de nouveaux objets mathématiques. Mais, sur le terrain de l'espace, la lecture des propriétés géométriques d'un objet implique des conduites ordonnées du sujet ou, en d'autres termes, ne peut se faire qu'au moyen de formes ou d'opérations de la géométrie du sujet isomorphes aux configurations ou aux transformations de l'objet. Sur le plan spatial, il peut ainsi y avoir un accord particulièrement étroit entre les opérations et les compositions déductives du sujet et ce qui leur correspond au niveau du réel.

Cette correspondance exceptionnelle (qui se manifeste encore sur le plan de l'astronomie) justifie-t-elle que l'on puisse attribuer à la géométrie de l'objet cette nécessité qui caractérise celle du sujet ? Piaget ne le croit pas. Ce qu'il manque au réel (abstraction faite donc des sujets qui en font partie) pour qu'une telle attribution fasse sens, « c'est d'abord l'intégration du dépassé dans le dépassant, principal facteur de nécessité au plan de la connaissance » ; c'est ensuite la simultanéité des co-possibles, que seule l'intelligence et, ajouterons-nous, l'implication signifiante, peuvent réunir en totalité ; et c'est enfin « la recherche et la compréhension des raisons » qui, elles aussi, sont le propre de cette partie du réel qu'est le sujet de connaissance (p. 41).

¹¹⁹ Là aussi il y a des solutions intéressantes que nous ne rapportons pas, dans la mesure où elles ne concernent pas directement le problème de la nécessité.



Chapitre III : La construction d'une pente (avec C. Monnier et A. Boder)

a. Le problème

Le problème posé au sujet est simple : il s'agit de construire au moyen de plots égaux une pente composée de trois piliers A, B et C, sur lesquels seront fixés deux rails, de telle sorte qu'une bille déposée en A devra parvenir jusqu'à C. Le frottement est tel que la bille s'arrêtera en chemin si un rail est horizontal (ce qui signifie que toute solution valable implique que A soit plus haut que B, et celui-ci plus haut que C). Ce problème, curieusement réussi assez tardivement, sera l'occasion de mieux examiner les rapports entre les processus d'intégration et de nécessité intervenant dans la construction des structures cognitives.

b. Les résultats

Les plus jeunes enfants étudiés dans cette recherche ont 2 ans H et plus. A un premier niveau IA (entre 2 et 4 ans), les sujets ne conçoivent pas encore la pente comme une condition nécessaire du roulement de la bille de A jusqu'en C, de telle sorte qu'ils peuvent construire des configurations du type : 3 étages de plots pour A, 1 pour B et 2 pour C, ou même 2, 2 et 2. Bien sûr, les constats qu'ils font de leurs échecs les conduisent à apprendre des solutions qui réussissent. Mais les coordinations auxquelles ils procèdent restent sur le plan des seuls observables, et il ne semble donc pas y avoir de nécessité véritable (autre qu'une certitude initiale liée à l'indifférenciation de départ entre le réel, le possible et le nécessaire, d'ailleurs non rappelée dans ce chapitre).

Au niveau IB par contre (entre 4 et 6 ans environ), le sujet admet qu'une pente est nécessaire pour que la bille descende. Par conséquent il tend à construire une pente réalisant globalement cette condition, mais sans encore pouvoir intégrer correctement les relations constitutives à l'instant même où il choisit un élément de la pente (en se fixant sur celui-ci, il ne tient plus compte des piliers déjà posés ou à construire). Par exemple, après avoir constaté que 2, 1 et 3 ne marche pas, un enfant ajoutera deux plots en A, d'où 4, 1, 3, puis constatant que cela ne marche toujours pas, il élèvera encore plus le pilier A, etc.

Pour que le système intégré fonctionne, il ne suffit pas que la condition générale soit en gros respectée, mais il faut aussi que les « compositions nécessaires » (p. 48) à la réalisation du but (qu'il y ait une descente tout le long du trajet) soient remplies. Pour quelles raisons ces compositions sont-elles si difficiles à intégrer ? Piaget avance sept facteurs explicatifs : 1. l'insuffisante anticipation des effets d'une modification apportée à un pilier sur les relations entre les couples de piliers ; 2. l'existence de fausses généralisations (par exemple, un sujet constatant que la correction de 3, 1, 2 par 3, 1, 1 ne marche pas en conclut que 3, 2, 1 ne marchera pas non plus) ; 3. en contraste avec le facteur précédent, la faible prise en compte des expériences successives ; 4. le manque de cohérence entre les actions successives (après avoir annoncé qu'il poursuit tel but, un sujet pourra changer son objectif en cours de route) ; 5. l'absence de considération des variations possibles, et donc des co-possibles ;



6. l'attachement à de faux absolus (une solution réussie est la bonne, et ajouter, par exemple, un étage à chaque pilier déboucherait sur un échec) ; enfin 7. l'existence de pseudo-nécessités (par exemple la meilleure pente est nécessairement la plus basse, ce qui limite le champ des corrections possibles).

Au niveau IIA (7-8 ans), les sujets parviennent à composer ou intégrer les éléments de la série dans un système total qui assure la descente de la bille, mais à condition qu'ils puissent choisir librement les compositions successives ; si la hauteur d'un pilier est préalablement imposée, des difficultés réapparaissent dans la découverte des solutions. Par exemple, à l'expérimentateur qui lui demande quelle modification on pourrait apporter au système 3, 3, 1 pour que la bille descende, mais en laissant le deuxième pilier sans changement, un sujet répondra que c'est impossible « parce que si on enlève en A, ça descend du faux côté, ici [B] on ne peut pas, et enlever ici [C] ça ne change rien » (p. 53). De tels échecs révèlent une coordination encore insuffisante entre les compositions possibles des parties du système (le sujet ne voit pas que l'effet d'une action orientée dans un certain sens peut être réalisé par une action qui agit dans l'autre sens, en l'occurrence, élever A). Dans l'exemple précédent, la fixation sur B suggère au sujet que la solution est d'enlever un plot. Mais comme il ne peut pas le faire en B, il tente en pensée de le faire en A ou en C, ce qui aboutit dans les deux cas à l'échec.

Ce n'est qu'au niveau IIB (à partir de 9 ans environ) que ce dernier problème est résolu.

c. Conclusions

En ce qui concerne la question de la nécessité, le problème qui se pose pour le sujet est de découvrir quelles sont « les conditions nécessaires et suffisantes pour assurer une descente et corriger les situations » lorsqu'elles ne répondent pas à la condition $A > B > C$ (p. 56). Il y parviendra dans la mesure où il peut intégrer en des totalités de plus en plus cohérentes (avec passage progressif de variations purement extrinsèques ou empiriques à des variations intrinsèques) les différentes compositions possibles d'actions sur les parties du système. Le processus de nécessitation va de pair avec cette intégration, dans la mesure où il revient à découvrir « les compositions successives qui rendent nécessaires certaines des relations engendrées par le processus intégratif (par exemple, la composition des descentes $A \rightarrow B$ et $B \rightarrow C$ établies d'abord séparément) » (p. 57). Quant à la « nécessité », elle caractérisera le statut intemporel du résultat de ces compositions « lorsque leur négation (ou absence) serait contradictoire avec les lois de totalité » (id.).

Trois niveaux de nécessité s'échelonnent à travers ce processus de nécessitation. Au niveau IA et surtout au niveau IB, on voit apparaître la nécessité liée à la détermination de conditions nécessaires de production d'un phénomène (par exemple, le fait que la pente doit descendre, ce que le sujet découvre parfois empiriquement au niveau IA, et ce qu'il sait d'avance au niveau IB). Au niveau IIA apparaît la nécessité par « approfondissement », lorsqu'est atteinte « la raison d'une transformation à effectuer » (p. 57) ; par exemple pour 1, 3, 2, le sujet peut décider d'élever A, car la solution de ramener B à 0 n'est pas compatible avec l'exigence d'une descente tout au long de A, B et C. Un approfondissement ultérieur pourrait en outre conduire le



même sujet à découvrir que la hauteur de A doit être au minimum de 2, ce qui lui ferait simultanément trouver la raison de la raison précédente¹²⁰. Poursuivi, le processus de nécessitation aboutira finalement à une nécessité par « amplification », qui fait intervenir des « conséquences implicatives » permettant de résoudre des situations dans lesquelles certaines variables sont arbitrairement fixées (si A, ou B, ou C est laissé constant, alors la solution est nécessairement du type x, y ou z)¹²¹.

Enfin, un point de ces conclusions doit être encore retenu dans la mesure où l'auteur va l'utiliser pour restreindre le champ d'application de la notion de nécessité aux seules régions du réel dans lesquelles on peut observer des processus de dépassement avec intégration du dépassant dans le dépassé. Résultat d'un processus de nécessitation, toute nouvelle nécessité déclenche la recherche de la raison de cette nécessité, et engendre aussi de nouvelles possibilités appelant le prolongement des processus d'intégration et de nécessitation. Toute nouvelle nécessité contient donc la source de son propre dépassement, et la nécessitation, par son caractère stabilisateur « assure à l'intégration son équilibre tout en l'ouvrant par amplification sur les majorations qu'elle rend possibles » (p. 59).

On voit ici que la majoration dont Piaget cherchait la clé dans l'examen de l'évolution des possibles trouve une solution plus plausible dans cette dialectique qui met en jeu le possible et le nécessaire, ainsi que les processus d'intégration et de nécessitation.

Chapitre IV : Les nécessités relatives à la mesure des longueurs (avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis)

a. Le problème

Différents couples de chemins formés de tiges aboutées sont présentés au sujet, qui doit vérifier si les chemins sont égaux ou non pour chacun des couples. Des questions de type classique sur la conservation des longueurs peuvent également être posées pour apprécier le niveau du sujet par rapport à ce problème d'invariance.

On voit qu'il s'agit à nouveau d'une situation, en l'occurrence de mesure des longueurs, largement examinée dans les anciens travaux de psychologie génétique. Pourtant une particularité distingue cette nouvelle recherche : le soin pris à étudier, d'une part les différents procédés ou procédures de mesure ou de vérification des longueurs utilisés à différents niveaux de développement, et d'autre part l'évolution du nécessaire. La question théorique plus particulièrement centrée dans ce chapitre consiste à savoir s'il existe quelque chose comme une « nécessité procédurale ».

¹²⁰ On voit apparaître une nouvelle fois le thème de la raison que Piaget placera au cœur du dernier programme de recherche qu'il a conçu, mais n'a pas pu amener à terme, pour l'année 1979-80.

¹²¹ Plus loin, Piaget donnera une définition très synthétique de ces trois niveaux ou dimensions de la nécessité : toute nécessité résulte de compositions dont les trois dimensions sont « la détermination (conditions nécessaires et suffisantes), l'approfondissement (raisons) et l'amplification (conséquences) » (p. 133).



b. Résultats et conclusion

Au niveau IA, vers 5-6 ans, la notion de longueur reste qualitative et les critères choisis pour estimer les longueurs varient au gré des circonstances (ce que les anciennes recherches avaient déjà montré). La condition centrale pour qu'il y ait possibilité d'une mesure, même intensive, des longueurs, à savoir leur homogénéité, n'étant ainsi pas acquise, il ne saurait y avoir de nécessité véritable à ce niveau.

Au niveau IB (6-7 ans), si la notion de longueur reste largement qualitative, il y a néanmoins des premiers essais d'intégration des observables et des actions « orientées dans la direction d'une grandeur homogène susceptible de quantification additive » (p. 67). Par exemple, l'enfant commence à utiliser des mesurants, et notamment ses doigts, pour vérifier si, comme il le croit, un élément est plus long qu'un autre. Cela signifie que, contrairement au sujet de niveau IA dont les critères sont essentiellement centrés sur les points d'arrivée ou de départ des tiges, il tient compte maintenant aussi de l'intervalle entre ces points. Mais par ailleurs, à ce niveau, le mesurant reste une longueur qualitative, ni décomposée ni décomposable, et les résultats auxquels conduit son utilisation ne sont pas complètement stables. On a donc à ce niveau une intégration partielle qui laisse la place à deux notions de longueur, une encore toute qualitative, et l'autre quantitative, qui commence à intégrer les préopérations additives.

Le niveau IIA (7-8 ans) est celui de la conservation des longueurs. Le transport du mesurant d'un objet sur un autre se fait avec toute la précision requise, et le sujet privilégie systématiquement ses résultats par rapport aux estimations purement perceptives des longueurs. Enfin, lorsque les formes de chemins à comparer sont hétérogènes, le sujet transforme la ligne brisée en ligne droite, ou évalue chacun des segments de la première au moyen de mesurants de longueur différente (des bris de spaghetti), qu'il aligne ensuite en ligne droite, ce qui lui permet de connaître avec précision la longueur respective précise des deux chemins et de reconnaître avec certitude le plus long des deux. Cette dernière démarche démontre que le sujet de ce niveau sait composer additivement des longueurs, ce qui assure la nécessité de ses jugements. En certaines situations toutefois, particulièrement lorsqu'il doit comparer trois figures complexes inégales, il lui arrive de ne pas pouvoir appliquer le raisonnement par transitivité pour déduire de $C > B$ et de $B > C$ que $C > A$ (vu la difficulté de composer les additions propres à chacune des formes, le sujet semble se retrouver dans une situation similaire à celle de l'épreuve verbale bien connue, portant sur trois personnages dont le premier a les cheveux moins clairs que le deuxième, qui lui-même les a plus foncés que le troisième, la question étant de savoir lequel a les cheveux les plus clairs).

Au niveau IIB par contre (9-10 ans), la compréhension parfaite de la connexité entre les parties du chemin, qui ne font éventuellement que changer d'orientation, mais qui restent toujours aboutées les unes aux autres, de telle sorte que la longueur du tout ne varie pas lorsqu'on change la direction des segments, assure la réussite du problème même lorsque les chemins présentent des formes complexes.

Notons en passant que cette recherche permet à Piaget d'enrichir la notion de « conservation justifiée par la commutabilité des parties déplacées d'un tout » par celle de « conservation justifiée par la connectabilité des parties qui ne change pas alors même que l'on modifie la direction de l'une ou l'autre (ou de plusieurs) de ces dernières ». Cette notion de connectabilité intervient directement dans les procédu-



res de mesure utilisées par les sujets pour, au côté de la transitivité, assurer que si, par exemple, $A = M$ et $M = B$, alors $A = B$ (M étant le mesurant composé de parties connectées les unes aux autres). Mais dès lors cet « aspect structural » (p. 74) de la mesure n'implique-t-il pas une forme procédurale de nécessité venant s'ajouter aux trois formes décrites dans le précédent chapitre (les nécessités par détermination, par approfondissement et par amplification) ?

L'auteur tend à répondre par la négative, dans la mesure où « ce sont des transformations nécessitantes de la notion même de longueur qui rendent la mesure possible » (p. 74). Plus précisément on retrouverait dans ce rapport entre mesure et notion « la distinction qui s'impose entre la procédure comme facteur de réussite et les raisons de ces réussites » (id.). Or si la réussite n'implique pas forcément la détermination de conditions nécessaires, il en va différemment de la « compréhension des raisons » qui, elle, est « affaire de nécessité structurale » (id.). En d'autres termes, en des situations simples, le sujet pourrait utiliser empiriquement un procédé de mesure lui permettant d'aboutir à des résultats corrects. Mais c'est seulement la compréhension des raisons qui rendra nécessaires les jugements liés à la mesure. S'il est vrai que « le procédural joue un rôle considérable dans le développement mental », c'est essentiellement parce qu'il apporte constamment des « ouvertures sur de nouveaux possibles » (p. 75). Quant à la nécessité, elle ne débute « qu'avec la compréhension structurale des raisons » (id.).

Cette affirmation sur laquelle s'achève ce chapitre laisse entendre que le processus de nécessité observé dans le passage d'un niveau à l'autre trouve son moteur principal dans la recherche des raisons ou dans le besoin de comprendre.

Chapitre V : L'associativité des longueurs (avec C. Coll et E. Marti)

Ce chapitre n'apporte pas d'informations nouvelles relativement au problème de l'évolution de la nécessité. Son plus grand intérêt est d'introduire une notion de « pro-structure » liée à des propriétés communes à plusieurs structures logico-mathématiques, telles que l'associativité, la distributivité, etc. Les « pro-structures » sont définies plus précisément comme des coordinations manifestant l'une ou l'autre de ces propriétés, et que l'on retrouve au sein du fonctionnement de différentes structures. L'intérêt de ces coordinations ou pro-structures est qu'elles comportent aussi une fermeture. Pour l'associativité par exemple, une suite associative de trois éléments composés avec d'autres termes donne encore une coordination associative.

a. Le problème

Soit deux chemins composés de quatre segments formant une ligne brisée. A chaque segment du premier chemin correspond un segment d'égale grandeur du second trajet (parmi les quatre segments de chaque chemin, seuls deux d'entre eux sont égaux). En une première situation, il y a une correspondance figurale parfaite entre les deux chemins. Dans les autres situations, cette correspondance n'existe plus : non seule-



ment l'ordre des segments et leurs directions varient, mais de plus des discontinuités (des sauts) peuvent être introduites dans la suite des segments d'un chemin. Pour chaque situation, les sujets doivent comparer la longueur des chemins (si la discontinuité entre segments pose un problème, l'expérimentateur introduit l'idée d'une mouche qui marche sur chaque segment successif, puis qui s'envole pour rejoindre le segment suivant, etc.).

Ce premier problème est complété par un second, où ce ne sont plus des segments qui sont ajoutés les uns aux autres dans des ordres variés, mais des surfaces. Dans les deux cas le problème pour l'enfant est donc de construire la propriété d'associativité : un tout est égal à la somme de ses parties quel que soit l'ordre dans lequel on les additionne.

b. Les résultats

Au niveau IA on retrouve le primat du qualitatif sur le quantitatif dans l'estimation des quantités, et donc l'hétérogénéité des longueurs ou des surfaces liée à la variabilité des critères sur lesquels se basent les estimations successives.

Au niveau IB, les sujets conçoivent de manière globale la longueur totale comme addition des longueurs des segments, mais sans pouvoir établir de compensations entre ce qu'apportent chacune des parties (que les accroissements de certaines parties sur un chemin sont compensés par les diminutions d'autres parties). Le problème de « nécessité » auquel les sujets sont alors confrontés est celui d'expliquer « comment deux totalités devant être égales entre elles, parce que composées des mêmes éléments, peuvent comporter des parties de longueurs additives différentes » (p. 86). Piaget note alors que le problème de l'associativité est comparable à celui de la « vicariance » des classes (comprendre qu'une même classe, les humains par exemple, peut être distribuée en différentes sous-classes, les Suisses et les non-Suisses, les Français et les non-Français, etc.). Dans le cas de l'associativité, il s'agit cependant d'une vicariance quantitative, dans la mesure où elle exige des compensations entre accroissements et diminutions des parties.

Au niveau IIA cette compensation des accroissements et des diminutions est acquise, ce qui permet à l'associativité qui s'esquissait au niveau IB de prendre une forme nécessaire.

Chapitre VI : Multiplication et associativité multiplicative (avec I. Berthoud-Papandropoulou et H. Kilcher)

Ce long chapitre apporte de précieuses analyses qui concernent la notion de multiplication et qui montrent en quoi l'opération de multiplication ne se réduit pas à une addition d'addition. Par contre, il n'y est pratiquement pas question du problème de la nécessité.



a. Le problème

Il s'agit de distribuer des grains en nombre identique à un canard et à un mouton, sachant que ces deux animaux mangent x paquets de y grains en un repas, et, pour les situations les plus complexes, en z nombre de repas (l'expérimentateur prépare les tas de grains pour l'un des deux animaux, l'enfant doit préparer les tas pour l'autre). Par exemple, si, pour M, il a été préparé 2 repas de 4 paquets à 3 grains ($2 \times 4 \times 3$), on demande à l'enfant de donner la même chose de grains, mais pour 3 repas et avec 2 grains par paquets ($3 \times ? \times 2$). L'enfant devra justifier après coup sa solution, cela afin de cerner ce qu'il a compris dans les notions multiplicatives en jeu.

b. Les résultats

Les enfants de niveau IA (4-5 ans environ) ne tiennent compte que d'une seule variable à la fois (d'où, par exemple, $4 \times 3 = 4 \times 2$, si le sujet se centre sur le nombre de paquets, sans tenir compte du nombre de grains que chacun contient). A ce niveau la relation d'emboîtement entre les grains, les paquets et la totalité n'est pas comprise et cela se traduit par le fait que les sujets ne voient pas « l'impossibilité de déterminer les totalités et leurs égalités en se fondant uniquement sur les paquets sans tenir compte du nombre de grains qu'ils contiennent » (p. 99). Si on fait constater qu'il n'y a pas le même nombre de grains en tout, les sujets feront une correction locale, qui souvent introduit une nouvelle erreur ou ne respecte pas la consigne.

Au niveau IB (5-6 ans), les sujets introduisent de premières mises en relation entre les variables, et notamment « un début de rapport de contenant à contenu » (p. 100). Dans le cas où ils constatent que 4×3 fi 4×2 , ils peuvent ainsi augmenter le nombre de paquets pour compenser le fait que le nombre de grains que tel animal mange en même temps est plus petit (et, par exemple, donner 5 et non pas 4 paquets de 2 grains).

Avec le début des opérations concrètes (niveau IIA), il y a stabilisation des rapports tout/paquets/grains, c'est-à-dire que les paquets sont maintenant clairement vus comme étant à la fois des contenants et des contenus. Les sujets commencent aussi à comprendre l'associativité par rapport à la multiplication, en comprenant que le tout peut contenir des parties différemment composées de grains, et néanmoins conserver le même nombre total d'éléments (on constate là aussi la vicariance quantitative observée au même niveau IIA dans la précédente recherche).

Toujours à propos du niveau IIA, Piaget insiste longuement sur le fait que la grande différence entre la multiplication et l'addition est que la première, réussie dès ce niveau, mais seulement en action encore, met en jeu la compréhension du rapport de contenant à contenu, qui n'intervient pas dans le cas de la vicariance additive (celle-ci ne fait intervenir que des correspondances par bijection, alors que le rapport de contenant à contenu introduit des correspondances surjectives)¹²². En dépit de cette difficulté supplémentaire qu'apportent l'opération de multiplication et la nécessité de tenir compte de ce rapport, celui-ci est ce qui permet néanmoins au sujet de découvrir les bonnes solutions, « certes empiriquement et par tâtonnements [...] et non pas par anticipation comme ce sera le cas au niveau suivant » (p. 107).

Quant aux niveaux IIB et IIIA, ils manifestent encore de nombreuses difficultés, du moins dès que les situations se compliquent. Au niveau IIIA par exemple, les sujets



butent face à une situation dans laquelle le canard « ayant plus de repas aura moins de paquets par repas, mais que mangeant en deux repas, il aura plus de paquets avec moins de grains par repas » (p. 109). C'est là encore la difficulté de concevoir les paquets comment étant à la fois des contenus et des contenants qui complique le problème, et non pas des difficultés de calcul. A procéder en effet « par opérations numériques, il reste à ne pas oublier ce que chaque nombre signifie dans le système des contenants-contenus devenus multiplicateurs-multiplicandes » (p. 110) : « en $4 \times 3 = 12$ [par exemple] le multiplicande 3 est le contenu de chacun des 4 multiplicateurs » (p. 111).

Comment se fait ce passage au terme duquel le rapport contenant-contenu devient un rapport multiplicateur-multiplicande ? Il résulte du passage d'un rapport d'emboîtement prenant encore un sens spatial à un rapport de correspondance surjective, où il n'y a plus rien de spatial, hormis les flèches pouvant servir à représenter cette forme d'application.

Enfin, en ce qui concerne la nécessité, qui est loin d'être au centre des intérêts de Piaget dans ce chapitre, celui-ci se contente de noter que les « nécessités authentiques », qui commencent au niveau IIA, se substituent à une « pseudo-nécessité » initiale (que le tout dépend du nombre des parties, sans considération du contenu de celles-ci), qui est d'ailleurs aussi une « prénécessité », puisque ce rapport sera incorporé aux nécessités authentiques. Comme dans les chapitres précédents, ces dernières, qui apparaissent d'abord sur le plan de l'action, résultent de la composition des relations et des opérations en jeu, et de la compensation parfaite des transformations de chaque variable.

Bien que n'intéressant que très peu le problème de la nécessité, nous avons donné un résumé assez étendu de cette recherche. Ce résumé ne reproduit cependant pas la totalité des analyses, des suggestions ou des remarques de l'auteur. Le lecteur intéressé par le problème de la multiplication aura dès lors tout intérêt à consulter ce chapitre pour avoir une idée plus complète des problèmes cognitifs résolus par les enfants dans les tâches considérées.

Chapitre VII : La distributivité (avec A. Henriques-Christophides)

a. Le problème

Le problème de la distributivité, qui avait déjà fait l'objet de recherches antérieures, est à nouveau considéré, mais en des situations purement géométriques (et non plus physico-géométriques, comme celle de l'étirement d'un élastique). Ces nouvelles situations portent sur des quantités aussi bien discrètes que continues.

¹²² Vu l'intérêt de ce chapitre par rapport à l'opération de multiplication arithmétique, citons ce passage qui apporte un éclairage particulièrement intéressant sur celle-ci. Si ce qui manque au niveau IIA est « l'anticipation qui traduirait les contenants en multiplicateurs et les contenus en multiplicandes », cependant les problèmes y sont déjà « traités en termes de distributions, emboîtements et nombre de contenants et de contenus, avec précision sur les nombres devenus nécessaires ». Dès lors il est « bien difficile de ne pas y voir des multiplications en actions » (p. 106).



Deux situations sont choisies pour les quantités discrètes. Dans la première, le sujet choisit n paquets composés de 3 éléments, et l'expérimentateur n paquets de 2 éléments plus n paquets de 1 élément. L'enfant doit alors dire s'il y a toujours la même chose (les enfants qui sont âgés de 6 ans et plus reconnaissent tous au départ que $3 = 2 + 1$). La seconde situation est plus compliquée. L'expérimentateur met dans une boîte m objets, en même temps que le sujet met n fois m objets dans une autre boîte (chaque fois que l'expérimentateur prend 1 objet, le sujet en prend n). Puis l'expérimentateur et l'enfant font la même chose, mais en mettant une collection identique d'objets dans deux boîtes et non plus dans une seule (ils commencent par remplir chacun une première boîte, puis une seconde). Le problème est de savoir si $n(A + B)$ est égal à $n(A) + n(B)$.

En ce qui concerne la distributivité des grandeurs continues, les éléments discrets sont remplacés par des surfaces ou des longueurs à placer les unes à côté des autres.

b. Résultats et conclusion

Le résultat principal de cette recherche est la constatation d'un décalage entre les solutions apportées aux deux premières situations les plus simples du problème de la distributivité par rapport aux solutions des deuxième situations. Alors que la distributivité est réussie dès le niveau IIA lors d'une « multiplication en action » (voir le chapitre précédent), il faut en général attendre le stade III pour que les problèmes plus complexes soient résolus. Les exceptions à ce constat vont d'ailleurs dans le même sens, puisqu'on les trouve dans les cas où les sujets ont d'abord résolu le problème simple : en appliquant ce qu'ils ont acquis, ils affirment l'égalité de $n(A + B)$ et de $n(A) + n(B)$, pour la bonne raison que, comme le dit un enfant, si on prenait les deux boîtes A et B et qu'on les mettait dans une seule, cela ferait la même chose.

Le niveau III se caractérise non seulement par la réussite des différents problèmes, mais aussi par des thématizations qui, si elles ne sont pas l'affirmation de la loi de distributivité, s'en rapprochent. Donnons un seul exemple d'argument formulé par un enfant d'un peu plus de 11 ans : « La même chose, parce que chaque fois que vous en avez mis un, moi j'en ai mis deux. Ensuite on a recommencé, mais dans une seule boîte. Alors ça fait le même nombre » (p. 125).

Comment expliquer le décalage entre la réussite aux situations les plus simples et le fait qu'il faille attendre le troisième stade pour obtenir des explications qui paraissent pourtant d'une grande simplicité ?

La différence réside dans le type d'accroissement des quantités dans les premières situations par rapport aux secondes. A s'en tenir au cas de la distributivité des quantités discrètes, le tout initial (3 pour l'enfant et $2 + 1$ pour l'expérimentateur) se conserve au cours des opérations ultérieures (2 paquets de 3 pour l'enfant, 2 paquets de $2 + 2$ paquets de 1 pour l'expérimentateur, puis 3 paquets pour l'enfant, 3 de $2 + 3$ de 1 pour l'expérimentateur, etc.). On retrouve donc à chaque étape la même action qui consiste d'un côté à ajouter 3 d'un coup, et de l'autre $2 + 1$. L'enfant doit simple-



ment reconnaître qu'ajouter 3 d'un côté et $2 + 1$ de l'autre, c'est toujours ajouter le même nombre d'éléments.

Par contre dans la deuxième situation, la totalité de départ de l'expérimentateur est partagée dans deux boîtes A et B, et de plus l'enfant la multiplie par n pour construire sa propre distribution d'éléments. Ce qui est maintenu constant dans la seconde situation n'est plus la totalité de départ à chaque fois reproduite, mais l'accroissement fois n qui doit être maintenu constant. Or il n'est pas dit que, pour le sujet, la multiplication d'un tout ait le même effet que la multiplication de ses parties. Les réponses des enfants montrent au contraire qu'ils introduisent d'abord une « fausse proportionnalité » de l'effet : plus le multiplicande sera grand et plus l'effet du multiplicateur le sera également. Pour réussir et comprendre la distributivité complète : $n(A + B) = nA + nB$, il est donc nécessaire d'avoir construit les opérations et la notion de proportion. L'homogénéité de l'accroissement portant sur le tout et ses parties n'est pas perceptible et ne peut être qu'inférée à partir de cette connaissance des proportions qui apparaît avec le stade des opérations formelles.

Enfin, en ce qui concerne les nécessités découvertes au cours de cette construction en deux étapes de la distributivité, Piaget observe que celle qui s'attache à la résolution des deux dernières situations « est d'un type supérieur et donc plus 'forte' que celle dont témoignent les réussites » aux deux premières situations (p. 129). L'intérêt de la présente recherche est donc d'illustrer la thèse principale exposée dans cet ouvrage : plus les compositions faisant un système équilibré, cohérent et relativement fermé sont nombreuses et plus forte est la nécessité des liens entre ces compositions.

Chapitre VIII : Conditions nécessaires et suffisantes dans la constitution de preuves (avec C. Brulhart et S. Dionnet, section I et A. Henriques-Christophides, section II)

a. Le problème

Soit une figure irrégulière et fermée recouverte d'une grille de vingt caches que l'on peut soulever les uns après les autres pour faire apparaître progressivement cette forme. Le sujet a par ailleurs sous les yeux douze formes, dont une est identique à celle initialement cachée. Le but est de découvrir quelle est cette bonne forme parmi les douze proposées. L'analyse se centre sur les preuves du fait que telle ou telle forme correspond ou non à la solution.

En ce qui concerne la deuxième section, le problème est encore plus simple. On présente au sujet deux enveloppes, l'une composée de dix jetons bleus et l'autre de cinq bleus et de cinq blancs, et on lui demande combien il faudrait tirer de jetons de l'une des deux pour savoir à coup sûr de quelle enveloppe il s'agit.



b. Les résultats

Commençons par rapporter les résultats au premier problème.

Au niveau IA les arguments s'en tiennent à des indices conçus isolément, sans coordinations les uns avec les autres. Par exemple, de ce qu'une courbure apparaissant sous un cache est identique à la courbure d'une des figures visibles, le sujet croit pouvoir en conclure qu'il a trouvé la bonne solution, sans considérer le fait que d'autres formes comportent aussi cette courbure. De plus les enfants tendent à n'enlever que les caches de la partie supérieure de la grille.

Au niveau IB, il y a par contre début de mise en relation des indices, comme le montre l'action explicite de soulever tel ou tel cache après la découverte d'un indice, afin de vérifier que d'autres indices pertinents se trouvent effectivement dans la figure cachée. Mais cette recherche ne vaut que pour les indices voisins de l'indice découvert. Les sujets commencent ainsi à intégrer dans leur exploration le fait qu'un indice découvert ne suffit pas à lui seul à attester la valeur d'une solution. Cependant cette démarche de vérification est encore trop limitée pour conduire nécessairement au bon résultat.

Au niveau IIA, le sujet peut décrire avec précision ce qu'il recherche en enlevant un cache. De plus, il ne vise plus seulement à vérifier des hypothèses, mais il écarte une forme dès qu'il découvre qu'elle ne peut correspondre avec la figure cachée. Il n'y a cependant pas encore de démarche systématique permettant d'assurer que toutes les conditions nécessaires et suffisantes ont été déterminées.

Enfin aux niveaux IIB et III, le sujet recherche systématiquement les conditions nécessaires et suffisantes permettant d'être certain que telle ou telle forme est la bonne. Une forme étant également écartée dès qu'elle est reconnue ne pas correspondre, pour une raison ou pour une autre, avec les traits déjà découverts de la figure initialement cachée, il parvient très vite à découvrir une solution dont il est absolument certain qu'elle est correcte. Le guidage des hypothèses tend dès lors à être optimal.

En ce qui concerne le deuxième problème, il faut attendre le niveau III (vers 10 ans) pour que le sujet puisse être certain que, tant que l'on n'a pas tiré six jetons d'une enveloppe, on ne peut être sûr de laquelle il s'agit (en effet, si on tire cinq jetons bleus, il se pourrait que les cinq jetons qui restent soient ou tous blancs ou tous bleus). Pourquoi ce décalage par rapport au premier problème ? Pour deux raisons. D'une part, le premier porte avant tout sur des caractères en compréhension de la figure (le sujet n'a pas besoin de coordonner explicitement des classes), alors que dans le second il s'agit explicitement de coordonner des extensions et des compréhensions. D'autre part, pour résoudre celui-ci, le sujet doit également coordonner explicitement les modalités du nécessaire et du possible (six jetons tirés suffisent pour être certain de la solution, cinq bleus sont nécessaires pour la première enveloppe, mais seulement possibles pour la deuxième, etc.).



Chapitre IX : La preuve par informations se conditionnant mutuellement (avec J. Vauclair et E. Marbach)

a. Le problème

Il s'agit d'une version simplifiée du Master Mind. Trois ou quatre animaux sont rangés sur une ligne et cachés sous un écran. Le matériel donné au sujet comportant d'autres collections d'animaux similaires, la procédure est la suivante. L'expérimentateur prie l'enfant d'essayer de ranger les trois (ou quatre) cartes d'une collection dans le même ordre que celui caché par l'écran. Après qu'il l'a fait, on indique le nombre de cartes qui, au début par hasard, sont placées correctement, en plaçant à la droite de sa construction un nombre égal de jetons. Ayant reçu cette information, le sujet est invité à construire une nouvelle rangée sous celle qu'il vient de composer. Un feed-back est à nouveau donné sur le nombre de correspondances exactes, et le jeu se poursuit ainsi jusqu'à la réussite, ou plus ou moins longtemps pour les enfants les moins âgés. Des justifications ou des clarifications sont demandées au sujet après chacun de ses essais.

b. Les résultats

Au niveau IA (4-5 ans environ), le sujet ne tient pas compte des informations successives que lui transmet l'expérimentateur quant au nombre de correspondances correctes. Parmi les « erreurs » constatées, deux se retrouveront aux prochains niveaux. La première consiste à ne pas prendre en compte que, si aucune carte n'est correctement rangée, alors chacune d'elle devrait être forcément placée ailleurs dans les essais ultérieurs. Certes l'échec incitera le sujet à construire une série différente de celle qu'il vient de faire ; mais cela ne l'empêchera pas de mettre à nouveau au même emplacement l'une ou l'autre des cartes. La deuxième erreur consiste à changer l'emplacement de toutes les cartes, alors qu'au coup précédent le sujet avait été informé qu'une ou plusieurs cartes avaient été correctement placées. Par contre, d'autres caractéristiques sont propres aux réponses du niveau IA, notamment la nature souvent arbitraire ou ad hoc des justifications données, par exemple celle selon laquelle telle carte est à telle place parce que l'animal qu'elle représente est lourd.

Le niveau IB (vers 6 ans) se caractérise surtout par l'apparition de la conscience du possible. L'enfant place une carte en un endroit en sachant que cela peut être juste ou faux. Mais il ne sait toujours pas coordonner les informations reçues en ce qui concerne le nombre de positions correctes et incorrectes.

Le niveau II (7-9 ans) se caractérise au contraire par les premières inférences utilisant les informations sur le nombre d'erreurs. Par exemple, si, après avoir placé une première série de trois cartes, il apprend qu'aucune n'est correctement rangée, et si, après avoir changé l'emplacement de chacune des trois cartes, il reçoit à nouveau l'information selon laquelle les nouveaux emplacements choisis sont toujours tous incorrects, alors il pourra en conclure que chacune des cartes viendra forcément occuper la troisième des positions initialement possibles, les deux autres étant



exclues. Mais dans des cas plus complexes, il s'embrouillera et ne parviendra pas à intégrer l'ensemble des informations successives.

Avec le niveau III et le début des opérations formelles, le sujet introduit une systématique dans ses actions, ce qui lui permet d'éliminer rapidement les combinaisons incorrectes. De plus, il sait que pour une série de trois (ou de quatre), si deux (trois) cartes ont été placées correctement, alors nécessairement la dernière l'est aussi.

En conclusion, Piaget note que l'un des résultats principaux de cette recherche est de montrer la difficulté que les jeunes sujets ont d'intégrer les informations relatives aux positions à exclure (pour une série où tout est faux, il paraîtrait pourtant simple de déduire immédiatement que chacune des cartes placées ne devra plus être mise à l'emplacement choisi), ce qui confirme la thèse d'un déséquilibre entre les affirmations et les négations caractéristiques des conduites préopératoires (thèse exposée dans les recherches sur la contradiction). Certes, savoir qu'il faut exclure une carte d'un emplacement ne donne pas encore la bonne solution. Mais cela réduit le nombre de possibles en ce qui la concerne, d'où l'utilité de conserver cette information par rapport à l'ensemble des essais ultérieurs.

Cette recherche fournit aussi une bonne illustration des connexions entre le possible et le nécessaire. Les informations que le sujet reçoit des réussites ou des échecs de son action ne portent que sur les possibilités ou les impossibilités de tel ou tel choix. C'est là-dessus seulement que la déduction peut se fonder pour restreindre progressivement le champ des possibles, « le nécessaire s'imposant finalement comme étant le seul possible » (p. 156).

Chapitre X : Un cas de limitation nécessaire (avec A. Henriques-Christophides et D. Maurice)

a. Le problème

La question posée au sujet est simple. Après l'avoir prié de construire l'ensemble des permutations possibles de deux puis de trois objets de couleur différente, et qu'il soit parvenu à en trouver six (pour trois objets), on lui demande s'il peut en découvrir encore d'autres, et sinon, pourquoi.

b. Les résultats

Au niveau IA, pour trois objets, les sujets se bornent à deux ou trois permutations, en reproduisant certaines, ou en répétant le choix d'une même couleur à l'intérieur d'un trio. De plus, ils ne tiennent pas compte de l'ordre (pour deux objets, un sujet dira par exemple que bleu et rouge c'est la même chose que rouge et bleu).

Au niveau IB, le critère de l'ordre est intégré, mais les enfants ne voient pas que la succession des changements de place peut obéir à une loi. Ils ne procèdent donc que par tâtonnements pour engendrer les différents duos ou trios possibles. Lorsqu'avec



un peu d'aide ils parviennent aux six trios possibles, après avoir cherché à en obtenir un septième, ils ne comprennent pas pourquoi six est le maximum.

Au niveau II, il y a des ébauches de méthodes pour construire l'ensemble des permutations, mais qui restent localement appliquées. Lorsqu'ils sont parvenus aux six permutations, ils reconnaissent qu'il n'y en a pas d'autres possibles, mais ne peuvent trouver de raison expliquant ce maximum. Par contre au niveau III (vers 11-12 ans), ils utilisent un procédé systématique lié à leur compréhension des opérations de permutation. Un sujet dira par exemple : « j'ai mis les trois couleurs d'une façon en première colonne, d'une autre façon en deuxième colonne et d'une autre façon en troisième » (p. 161), et c'est cette compréhension qu'il utilise pour expliquer l'impossibilité de produire plus de six permutations.

La formation de la nécessité est donc liée ici à la découverte par le sujet que les « sériations différentes [de chaque trio d'objets] se composent entre elles selon une loi qui est elle-même de nature sériale » (p. 162).

Conclusions générales

Piaget tire trois conclusions générales des résultats des précédentes recherches : (a) la nécessité a sa source dans le sujet et non pas dans l'objet, (b) elle n'est pas un « état isolable et définitif mais résulte d'un processus de nécessité » (p. 163), et (c) elle est « solidaire de la constitution des possibles » (id.). Il y ajoute des considérations relatives au rôle du possible et du nécessaire dans la formation des structures (d), ainsi que (e) la place du réel par rapport à l'évolution des connaissances.

a. La source endogène de la nécessité

Contrairement à ce que des philosophes comme Aristote ou des juristes comme Montesquieu affirmaient, la nécessité n'est pas propre à la nature des choses. La généralité d'une loi (comme par exemple celle de la chute des corps) ne suffit pas à justifier la nécessité d'un phénomène pour le sujet qui le considère. Cette nécessité « repose sur un modèle proposant une raison » (p. 164). En un premier temps, cependant, cette recherche peut s'en tenir au plan de la simple description. Chez le physicien newtonien par exemple, le modèle de l'attraction universelle reste à un tel niveau. C'est seulement avec la dynamo-géométrie de la physique einsteinienne que des raisons plus profondes sont atteintes, « parce que solidaires des opérations géométriques du sujet » (p. 164). Dans les chapitres précédents, c'est également dans la mesure où se construisent les opérations logico-mathématiques du sujet que celui-ci est capable de substituer aux pseudo-nécessités initiales les raisons pour lesquelles tel phénomène se produit. Le lien de la nécessité attribuée à un fait avec les compositions opératoires signifie non seulement l'impossibilité, pour le sujet, que ce fait ne se soit pas produit, mais plus profondément une contradiction entre sa négation et le modèle explicatif.



b. Le processus de nécessitation

Si la nécessité a sa source dans le sujet, quelle est-elle ? Les résultats des expériences montrent qu'il y a très tôt chez les enfants quelque chose qui relève d'une sorte de maxime que Piaget traduit de la façon suivante : « il est nécessaire qu'il y ait des nécessités » (p. 165). Pourquoi cette exigence de nécessité ? Parce que sinon, tout serait possible, une chose et son contraire. C'est donc avec la nécessité qu'a le sujet d'intégrer ses affirmations passées aux affirmations présentes (de ne pas se contredire, d'être cohérent) qu'un premier élément de solution est apporté au problème de l'origine de la nécessité. A remonter un cran plus haut, c'est dans les propriétés les plus générales du fonctionnement cognitif, et en particulier dans le processus d'assimilation et de coordination réciproques des schèmes que réside la source du mouvement d'intégration et de nécessitation qui lui est relié.

Le réel en tant que tel ne présente jamais de contradictions. Seul le sujet peut, par la nature en partie inférentielle de ses actions ou de ses opérations, engendrer du contradictoire (le contradictoire surgit sur le versant de l'implication signifiante et non pas sur le versant matériel de l'action). Ce serait parce qu'il aurait la puissance d'engendrer de telles actions ou opérations que le sujet en arriverait à découvrir l'exigence d'éviter des intégrations contradictoires de schèmes¹²³.

L'auteur poursuit son analyse du processus de nécessitation en observant que celui-ci met en œuvre non seulement des mécanismes étudiés dans la première moitié des années 70 (l'abstraction réfléchissante et la généralisation complétive), mais aussi « l'emploi de ces opérations fondamentales que nous appelons depuis quelques années les ' implications signifiantes ' où ' p implique q ' est nécessaire dans la mesure où la signification de q est englobée dans celle de p » (p. 166)¹²⁴. Grâce à ces mécanismes et opérations, « les processus nécessitants se prolongent par la construction de structures logico-mathématiques, avec leurs alternances de fermetures et de nouvelles ouvertures, et de modèles explicatifs physiques avec le remplacement continu des variations exogènes par des variations intrinsèques et déductibles dont les compositions endogènes deviennent nécessaires » (p. 167).

Toujours à propos de ce processus de nécessitation, Piaget rappelle alors les différentes formes ou étapes de nécessités, considérées à la fois du point de vue fonctionnel et du point de vue structural. Du point de vue fonctionnel, il y a les trois paliers 1. de la détermination des conditions d'abord nécessaires, puis nécessaires et suffisantes, 2. de l'approfondissement des conditions nécessaires et suffisantes par la recherche de leurs raisons, et enfin 3. de l'amplification, qui consiste à « dégager les conséquences nécessaires d'une composition déjà nécessitée » (p. 168). Du point de vue de la « force » variable attachée aux différentes nécessités rencontrées, il remarque qu'elle découle très directement de la « force » des structures logico-mathématiques dont ces nécessités dépendent. Par exemple, les nécessités attachées aux opérations et aux notions numériques sont plus fortes que les nécessités attachées aux opérations de la logique des classes ou de celle des relations, non seulement dans la mesure où la structure des nombres entiers contient davantage de relations entre ces éléments, mais aussi dans la mesure où celles-ci sont reliées entre elles par des liens plus étroits de solidarité inférentielle.



c. Le nécessaire et le possible

L'auteur commence par rappeler comment des liens de nécessités sont tirés entre des possibles actualisés ou non, et comment, inversement, la découverte de ces nouveaux liens de nécessité débouche sur la possibilité de découvrir de nouveaux possibles entre lesquels le sujet recherchera de nouvelles nécessités, et ainsi de suite.

Cette solidarité entre les évolutions du nécessaire et du possible est confirmée par le parallélisme des stades observés dans les différentes recherches. Aux trois étapes des pré-nécessités et des pseudo-nécessités, des co-nécessités construites solidairement, mais limitées aux réalités concrètes et des co-nécessités illimitées attachées aux déductions formelles correspondent les trois étapes des possibles (engendrés par successions) analogiques, des co-possibles concrets et de portée également limitée au concret, et enfin des co-possibles quelconques en compréhension et illimités en extension.

d. Le rôle du possible et du nécessaire dans la formation des structures

Les recherches précédentes ne révèlent pas seulement la solidarité des deux évolutions du possible et du nécessaire ; elles montrent aussi comme cette double évolution est liée au développement des structures opératoires. Piaget ne manque pas alors de réaffirmer la thèse selon laquelle ce ne sont pas les structures opératoires « qui dirigent le mouvement » (p. 170), mais que c'est au contraire au sein de l'évolution plus large du possible et du nécessaire que se construisent progressivement les structures opératoires.

Si c'est l'évolution du possible et du nécessaire qui détermine la formation des structures, comment procède-t-elle ? Il n'y a pas au départ un réel sur lequel s'édifieraient progressivement le possible et le nécessaire. Ce que montrent les faits psychogénétiques, c'est une indifférenciation initiale. Mais ces faits révèlent surtout comment le possible et le nécessaire se rattachent aux deux processus fonctionnels les plus généraux liés au fonctionnement des schèmes, l'accommodation et l'assimilation. Dans les conclusions du premier volume, l'auteur a souligné comment le possible découlait du processus d'accommodation. Dans le présent ouvrage, c'est au contraire le processus d'assimilation qui occupe le centre de l'argumentation. La source des possibles et des nécessités tient en effet « à la multiplication des schèmes d'assimilation, et, du fait des assimilations réciproques, à leurs coordinations et aux pouvoirs inférentiels que celles-ci engendrent » (p. 171). La coordination des schèmes engendre des compositions qui tendent à devenir nécessaires. Mais ces nouvelles compositions en suggèrent d'autres, en produisant ainsi de nouveaux possibles.

A partir de là, comment expliquer la formation des structures ? Certes celles-ci dépendent de mécanismes tels que l'abstraction réfléchissante et la généralisation complétive, dans la mesure où ce sont ces mécanismes qui expliquent « le passage d'une structure plus pauvre à une autre plus riche » (p. 172 ; on soulignera ici la présence d'un aspect de la théorie qui semblait trop négligé dans l'ouvrage sur les possibles). Mais Piaget prend ici appui sur le parallélisme épistémologique entre la biologie et la psychologie de l'intelligence et des connaissances pour proposer de considérer les faits psychogénétiques sous un nouvel angle. L'analyse des structures



et des mécanismes spéciaux de passage d'un stade à un autre correspond à l'étude biologique des organes et de leurs mécanismes organisateurs. Pourtant il est possible de prendre de la distance par rapport à ces mécanismes spécialisés de construction et à leurs produits spécifiques pour considérer le mouvement général des constructions cognitives, de la même façon que l'on peut considérer l'évolution biologique dans sa totalité, sans se pencher de manière détaillée sur la formation d'un organe dans l'évolution d'une espèce.

A ce niveau supérieur de considération des constructions cognitives, ce qui apparaît ce sont les mouvements de différenciations et d'intégrations rythmant l'évolution, avec la forme d'équilibration qui les caractérise. C'est à ce niveau que se laisse apercevoir le caractère englobant de la double évolution du possible (lié aux différenciations) et du nécessaire (lié aux intégrations) par rapport à la construction des structures, qui n'est qu'un aspect, certes extrêmement important, de l'évolution cognitive générale.

e. Le statut du réel

Quant au réel, si, au terme de l'évolution du possible et du nécessaire, il paraît être absorbé par le double jeu de la différenciation des possibles (dont il n'est plus qu'un cas particulier) et de l'intégration nécessitante qui aboutit à des compositions opératoires expliquant les phénomènes physiques, il est au contraire enrichi par ce double mouvement, dans la mesure où il est alors de mieux en mieux « compris et promu du rang inférieur d'observable à celui, supérieur, de réalité interprétée » (p. 173). Enfin, Piaget rappelle comment l'importance accordée au sujet dans la connaissance physique ne revient pas à nier l'existence d'un objet indépendant du sujet. C'est bien cet objet qui est progressivement connu, même s'il est vrai qu'il est condamné à rester à l'état de « limite », dans la mesure où chaque nouvelle connaissance à son propos « soulève de nouveaux problèmes », de telle sorte que l'objet « recule au fur et à mesure que le sujet s'en rapproche » (id.). Ce constat va d'ailleurs de pair avec cet autre constat selon lequel la nécessité atteinte à un palier de développement n'est jamais absolue, et dépend toujours de nouvelles constructions nécessitantes, qui seront à leur tour dépassées.

¹²³ S'il est relativement aisé de comprendre le sens général de l'argumentation de Piaget, il est parfois plus difficile de saisir le détail de la « démonstration ». Peut-être y a-t-il là un résidu inévitable d'obscurité pour un texte auquel, comme Inhelder le remarquait dans l'introduction, son auteur n'a pas pu apporter la dernière main.

¹²⁴ Il faut apporter ici une correction à cette indication autobiographique. L'utilisation de la notion d'implication signifiante remonte à l'étude sur La naissance de l'intelligence sensori-motrice chez l'enfant (Piaget, 1936). Par contre, les recherches portant directement sur la « logique des significations », et donc également sur l'implication signifiante, sont contemporaines de l'écriture du présent ouvrage sur la nécessité.







10. Les formes élémentaires de la dialectique

Introduction

Les buts poursuivis par cet ouvrage sont multiples. Le plus important se rattache à l'étude des mécanismes de construction cognitive. Le second objectif, plus conjoncturel, est de prendre position sur les liens susceptibles de rapprocher le constructivisme génétique des philosophies hégéliennes, qu'elles soient idéalistes ou matérialistes, pour lesquelles la pensée est de part en part dialectique, c'est-à-dire constamment basée sur des contradictions et sur leur dépassement.

Au début des années 70, lorsque Piaget a mis au centre de son programme de recherches la question des mécanismes du développement cognitif liés à l'équilibration des structures cognitives, plusieurs collaborateurs étaient fortement marqués par ces philosophies, que ce soit le matérialisme dialectique des héritiers de Marx et d'Engels ou la logique dialectique des héritiers de Hegel. Pour ces collaborateurs, la proximité entre le constructivisme et la dialectique hégélienne (au sens le plus large, couvrant le matérialisme dialectique) était évidente. Mais pour Piaget, un problème se posait qu'il fallait clarifier : la pensée est-elle de part en part dialectique, ou bien, au contraire, et comme le suggèrent les résultats de la psychologie génétique classique, le caractère dialectique de son fonctionnement n'est-il propre qu'à certaines phases de son développement, celles lors desquelles le sujet n'est pas encore parvenu à construire des formes stables d'activités intellectuelles ?¹²⁵ Ce second problème était d'autant plus aigu que pour lui la notion de « logique dialectique » ne va pas du tout de soi, et que, contrairement aux tenants de l'existence d'une telle logique, il admet que la logique classique (d'Aristote à Russell) n'est pas sans rapport avec le fonctionnement opératoire de la pensée « naturelle ».

Cela dit, le problème central de cette recherche se rattache directement à l'étude des mécanismes de construction, et donc à une question sur laquelle un accord est effectivement possible entre le constructivisme génétique et les philosophies dialectiques. L'interprétation de la notion de dialectique exposée dès l'introduction est révélatrice de ce que son auteur attend de ce nouvel ensemble d'enquêtes : « la dialectique, nous dit-il, constitue l'aspect inférentiel de tout processus d'équilibration » (p. 10). Par

¹²⁵ Cette question se complique si on tient compte des différentes échelles par rapport auxquelles on peut considérer l'activité cognitive. Piaget s'est ici quelque peu simplifié la tâche en choisissant pour l'essentiel de l'étudier en fonction des grandes étapes du développement cognitif chez l'enfant et l'adolescent. Mais il est évident qu'à toutes ces étapes, y compris au niveau formel, un sujet confronté à des problèmes qui sortent de son champ de compétences devra mettre en œuvre des processus relevant de la pensée dialectique.



contre, là où le processus d'équilibration aboutit à une étape d'équilibre relatif, le jeu dialectique des inférences laisse place à des « inférences discursives » que la logique classique, plus ou moins révisée, permet de modéliser. Cette première caractérisation de l'objet d'étude confirme ce que laissent largement pressentir les précédents ouvrages déjà résumés : il y a dans la dernière décennie un déplacement du centre d'attention théorique. Ce ne sont plus les actions et les opérations (en tant qu'actions intériorisées), ainsi que leurs coordinations, qui sont au cœur de l'interrogation piagétienne, mais la pensée en tant qu'activité logique, mettant en œuvre, comme on va le voir, des prédicats, des concepts, des jugements et des inférences, et plus précisément les processus dialectiques qui relient ces activités ou ces objets logiques, et leur permettent d'acquérir leur caractère de nécessité authentique¹²⁶.

La thèse soutenue dans cet ouvrage est celle selon laquelle les « formes élémentaires » de la dialectique portent, non pas sur des implications discursives, comme c'est le cas au stade formel, mais sur les « implications entre actions ou opérations », autrement dit sur les significations que le sujet attribue à ses actions et à ses opérations lorsqu'il agit matériellement ou en pensée sur une réalité physique ou intellectuelle. C'est à ce niveau qu'il croit pouvoir montrer la présence d'un certain nombre de processus circulaires, mais aussi de processus de relativisation des concepts et de dépassement (des contradictions ?) proches de ceux dont il est question dans les philosophies et les « logiques » dialectiques.

Comme toujours ou presque, c'est en suivant pas à pas les réponses des enfants à différentes questions ou à différents problèmes qui leur sont posés que Piaget cherche non seulement à vérifier mais aussi à préciser les hypothèses formulées au départ de la recherche.

¹²⁶ Bien que les recherches sur la dialectique aient fait suite aux recherches sur le possible et le nécessaire, la rédaction des premières a été achevée avant celle des secondes (ou du moins avant celles traitant de l'évolution du nécessaire, dont on a vu que Piaget n'avait pas pu mettre la dernière main au manuscrit exposant leurs résultats). Dans la postface à cet ouvrage sur la dialectique, dans laquelle sont examinés les liens entre la dialectique posthégélienne et le constructivisme génétique, R. Garcia, alors proche collaborateur de Piaget, nous rappelle que le symposium sur la dialectique s'est tenu en juin 1978. C'est probablement pendant l'été et l'automne 1978 que le présent ouvrage a été rédigé.

¹²⁷ Dans les deux années consacrées à la dialectique puis à la logique des significations, H. Wermus, logicien et collaborateur de Piaget au CIEG, a créé les bases d'une logique capable de modéliser ces « amalgames de prédicats ».



Chapitre I : Vers la circularité dialectique la plus générale des connexions logiques (avec M. Sakellaropoulo et A. Henriques-Christophides)

Ce chapitre traite directement de la question centrale du « cercle dialectique » (p. 15) reliant non seulement les concepts et les jugements, mais aussi les prédicats et les concepts (qui sont des « amalgames de prédicats »), ainsi que les jugements et les inférences (qui sont des compositions de jugements)¹²⁷. Le rapport constructif qui réunit les prédicats en concepts et les jugements en inférences doit être complété par un rapport de justification qui voit les jugements reposer sur des inférences (exemple : ceci est un sapin parce qu'il a des pives, qu'il a des aiguilles, etc.), et les prédicats résulter « de la comparaison de plusieurs concepts » (ainsi « vert » signifierait « de la même couleur que l'herbe », « de la même couleur que les épinards », etc.). Quant à l'articulation entre concepts et jugements, les premiers sont aussi bien engendrés par les seconds qu'éléments entrant dans leur composition.

Ce chapitre contient en outre deux sections, l'une portant sur la détermination logique de quelques animaux ou objets représentés par des images, et la seconde sur une détermination similaire, mais portant sur des objets de formes géométriques, de couleurs et de grandeurs variées préalablement répartis sans aucune ambiguïté en classes et en sous-classes.

a. Section I : La détermination de quelques animaux ou objets

Le problème

Le matériel est composé de deux collections de vingt images d'animaux différents (et dans une deuxième situation de quatorze objets de formes, couleurs et grandeurs non préalablement classés). Le sujet aura constamment sous les yeux une des deux collections. Après que l'expérimentateur lui a montré que la seconde est identique à la première, il cache les figurines de la seconde collection, se saisit de l'une d'entre elles qu'il ne montre pas à l'enfant et lui demande de deviner quelle est cette image.

Les résultats

Les enfants du premier niveau (4-5 ans environ) se contentent de parcourir de manière plus ou moins ordonnée la collection qu'ils ont sous les yeux en demandant à l'expérimentateur si l'un ou l'autre des animaux successivement considérés est le bon. Alors même que l'expérimentateur essaie de leur faciliter la tâche en leur donnant un indice (par exemple, que l'animal a deux pattes), ils n'en tiennent compte que de manière très approximative (dans l'exemple, « deux pattes » étant rattaché à « se tenir debout », un enfant pourra dire qu'il a choisi le singe « parce qu'il est toujours debout », p. 20). Il apparaît ainsi que les sujets n'évoquent jamais des classes d'animaux, avec leurs emboîtements et leurs complémentarités, mais uniquement des individus, qui certes peuvent représenter les autres membres de l'espèce, mais sans considé-



ration de la place de chaque espèce au sein d'un système de classification. Cette façon d'en rester au niveau des « espèces » et de leur représentant individuel apparaît encore dans le fait que, si l'on demande à un enfant pourquoi il a choisi de poser telle ou telle question (par exemple de savoir si l'animal caché est une chouette), il justifiera le plus souvent son choix en disant « parce que ce n'est pas un... [un animal dont on a déjà vu qu'il n'était pas le bon] », ou alors tout simplement « parce que je crois que c'est ça » (p. 21).

Piaget note pourtant que la composition des prédicats en préconcepts (ou « objets conceptuels »¹²⁸, p. 21) est déjà présente à ce niveau, puisque les enfants savent ce qu'est une cigogne, par exemple, et qu'ils savent justifier un choix comme celui de la chauve-souris en recourant à une intégration au moins partielle des conditions nécessaires au sein d'une « différenciation de nouveaux possibles » (id. ; il y a là bien évidemment une référence implicite à l'ouvrage non encore achevé sur l'évolution du possible et du nécessaire). De plus, dès ce niveau, les deux processus de composition de préconcepts et de justification de ceux-ci au moyen des prédicats comporteraient « naturellement déjà des jugements et inférences mais implicites et qui vont se dégager aux paliers ultérieurs » (p. 22).

Au niveau II, qui s'échelonne entre 7 et 11 ans (et qui concerne donc toute la période des opérations concrètes et le tout début du stade formel), il y a construction de « formes d'un nouveau type comportant des emboîtements en extension, fondés sur des inhérences entre significations qui s'englobent en compréhension » (p. 22).

La citation précédente est importante ; elle nous permet de prendre la mesure du point de vue non plus seulement extensionnel, mais aussi « intensionnel », à partir duquel Piaget considère les activités logiques de l'enfant opératoire. Considérés non plus tant du point de vue extensionnel des classes auxquelles ils se rapportent, mais de celui de leur signification, les concepts s'englobent en compréhension. Notons pourtant que, privilégiée dans cette recherche sur la dialectique des significations, la perspective intensionnelle ne saurait complètement supplanter le point de vue extensionnel. Les anciennes recherches gardent toute leur portée, y compris par rapport au problème du sens, puisque la signification d'un objet conceptuel finit par impliquer l'extension de la classe d'éléments correspondant à celui-ci, et qu'il n'y a par ailleurs concept au sens strict que si le sujet sait manipuler les relations quantitatives entre classes emboîtées les unes dans les autres.

Mais revenons aux caractéristiques des réponses du deuxième niveau. Les enfants savent par exemple regrouper les animaux qu'ils ont sous leurs yeux en des formes communes, comme par exemple celle « d'être long », qui peut concerner pour un certain enfant, à un certain moment de sa résolution, « le renne, la chenille et le mille-pattes » (p. 23). En composant des prédicats communs à plusieurs animaux (« être long » par exemple), le sujet se donne le moyen d'exclure par inférence tous ceux qui ne le sont pas, si l'expérimentateur lui apprend que l'animal à chercher ne possède pas ce prédicat commun. Ce mouvement va donc des prédicats aux inférences. Mais le sujet peut dès lors justifier une conclusion (donc une inférence implicite, aboutis-

¹²⁸ Il est évidemment significatif que Piaget utilise ici l'expression d'« objet conceptuel » en lieu et place du terme de « concept ». Il n'y aura concept au sens strict de la logique des classes que lorsque le sujet saura opérer sur des classes et sur leurs relations.



sant à une réponse telle que « c'est une chauve-souris »), en « descendant » jusqu'aux prédicats concernés. Dans l'exemple de la chauve-souris, l'enfant l'a choisie « parce qu'elle peut voler, qu'elle a des oreilles, des pattes et pas de cornes », ce que lui ont appris les réponses à des questions antérieures (p. 23).

Enfin, les productions des enfants du niveau III (le stade formel) parviennent à des classifications mentales plus complètes leur permettant d'éliminer les incohérences qui subsistent au niveau II. Ils savent aussi successivement sélectionner, parmi les différents prédicats communs, ceux qui permettent d'atteindre le plus rapidement possible la bonne réponse. Par sa capacité de concevoir des « emboîtements d'emboîtements » ou d'établir des « implications entre implications » (p. 27), le sujet peut atteindre les interdépendances « en leur totalité, au moins virtuelle (ensemble de possibles et relations nécessaires), les processus ascendants de compositions se complétant dialectiquement par les processus descendants de justification et de multiplication de ces possibles » (id.)

En conclusion de cette section, Piaget note que les résultats de la seconde situation (les enfants sont interrogés au sujet de quatorze objets de forme, de grandeur et de couleur différentes) confirment ceux de la première.

b. Section II : Mêmes problèmes sur des emboîtements simples et des intersections (avec A. Henriques-Christophides)

Cette fois le sujet a sous les yeux dix-huit figures, dont neuf grandes et neuf petites, avec dans les deux cas trois carrés, trois ronds et trois rectangles. De plus chacun des éléments des trios de carrés, de ronds et de rectangles de même grandeur a une couleur différente (ce qui fait six figures brunes, six bleues et six blanches). Il doit à nouveau trouver quelle figure l'expérimentateur a tirée parmi une deuxième collection identique à la première, mais dont le sujet ne peut percevoir les images. De plus le sujet doit dire, à partir d'informations que lui donne l'expérimentateur, avec quel degré de certitude il peut prédire la figure cachée parmi les dix-huit possibles.

Résultats

Au niveau I, on constate la même absence d'emboîtements que dans la première section, et cela autant pour les questions portant sur l'objet caché (l'enfant désigne par exemple un objet visible en demandant si l'objet caché lui correspond) que celles portant sur le degré de certitude avec lequel le sujet peut donner une réponse. Ainsi, le fait de dire que l'objet est carré suggère au sujet une réponse qu'il juge certaine, alors qu'il ne dispose pas de toutes les informations justifiant une telle certitude. De plus, il peut faire des choix qui contredisent des informations déjà données en réponse à ses choix antérieurs. Comme l'emboîtement des types de figures est visible sur la collection qu'il a devant les yeux, il ne s'agit certainement pas d'un problème de mémoire.

Au niveau II, les sujets tiennent compte des rapports d'inclusion pour poser leurs questions. Mais les implications qu'ils considèrent restent incomplètes, comme le



montre un enfant qui, ayant appris que la figure n'est ni ronde ni carrée, demande à l'expérimentateur si elle est rectangulaire, ce qu'il aurait pu inférer des informations en sa possession. De même, lorsque l'expérimentateur lui donne quelques informations, le sujet de ce niveau peut croire à tort qu'elles suffisent à déduire avec certitude la solution.

Au niveau III (10-12 ans) par contre, « les jugements sont constamment orientés par des inférences, parfois incomplètes, mais dirigées par la considération des possibles » (p. 35).

Piaget résume ensuite les résultats en les considérant d'abord du point de vue des compositions formatrices (on passe des prédicats aux concepts, etc.), puis des justifications (on passe des inférences aux jugements).

En ce qui concerne les compositions formatrices, le sujet de niveau I ne cherche pas à les composer de manière explicite. Lorsqu'il demande par exemple si la figure cachée est (pareille à) telle ou telle figure visible, il ne conçoit pas l'objet conceptuel correspondant comme composé de prédicats partagés par d'autres. Au niveau II au contraire, il combine au moyen de jugements certains des objets conceptuels, ce qui lui permet de construire des concepts (on trouve donc ici un exemple de cette dialectique entre jugements et concepts, les premiers permettant de construire les seconds, mais les seconds, ou les prédicats qui les composent, étant la condition de la construction de nouveaux concepts). Mais les jugements sont encore insuffisamment reliés par des « emboîtements inférentiels » (p. 36). Au niveau III enfin, il y a coordination des jugements au moyen d'inférences, ce qui permet de construire des intersections logiques.

En résumé, dans l'ordre ascendant, « la loi de composition des prédicats aux inférences est : ' prédicats agglomérés ' → objets conceptuels ; réunion de ceux-ci → concepts appuyés sur des jugements ; coordination de ces derniers → inférences elles-mêmes sources d'emboîtements supérieurs (intersections) » (p. 37)¹²⁹.

Mais à côté de ces démarches ascendantes on trouve celles de sens inverse, « descendant des totalités aux parties et les justifiant ou les enrichissant de nouveaux liens [...] qui complètent leurs significations par subordination aux totalités qui les englobent » (p. 37). Une illustration en est fournie par un enfant qui apprend que la figure cherchée est ronde et brune, et qui en conclut que c'est tel objet, mais qui peut être soit grand soit petit. En ce cas, l'inférence conduit à un jugement « qui en est la conclusion et à deux possibilités entre lesquelles il reste à choisir » (id.). Un autre exemple est celui de la construction de l'objet conceptuel « bleu », qui n'est pas relatif à une qualité propre à un objet, mais qui permet de relier cet objet à d'autres objets bleus. Ici c'est le concept « bleu » qui permet de sélectionner un prédicat parmi ceux amalgamés lors de la reconnaissance de tel objet particulier.

¹²⁹ En déplaçant son attention théorique vers le problème des implications signifiantes, Piaget se rapproche dans une certaine mesure de la phénoménologie de Husserl, mais sans s'attacher à décrire avec rigueur et précision, et par le moyen d'une analyse réflexive systématiquement conduite, les « objets mentaux » dont il est question ici. Cette lacune est partiellement compensée par l'examen des productions intellectuelles de sujets de différents niveaux cognitifs, examen qui, lui, est totalement absent chez Husserl. Une synthèse systématique de l'analyse psychogénétique et de l'analyse phénoménologique serait certainement une voie à explorer pour la psychologie du XXI^e siècle.



Un point doit être tout particulièrement souligné dans la conception que l'auteur se fait de ce mouvement procédant des totalités à leurs parties : il ne s'agit pas d'une simple justification laissant les choses inchangées, mais d'un processus constitutif de nouveaux êtres logiques (ou « idéalités logiques », pour reprendre le langage adopté par J.-T. Desanti dans son ouvrage sur Les idéalités mathématiques).

Enfin, Piaget précise que le cercle dialectique reliant les prédicats aux inférences se reproduit aux trois niveaux de conduites, mais sous des formes plus ou moins explicites. Au niveau I, le sujet n'a pas conscience des jugements et des inférences qui peuvent guider sa sélection d'un objet conceptuel (par exemple l'enfant qui passe, sans pouvoir expliciter l'inférence sous-jacente, du choix du petit carré blanc, à celui du bleu, puis du brun).

Citons encore, pour terminer ce résumé des conclusions très riches tirées de cette première recherche, l'introduction d'un passage qui illustre la façon dont les travaux sur le possible et le nécessaire sont exploités dans l'analyse de cette dialectique des prédicats, concepts, jugements et inférences, et comment Piaget parvient alors à enrichir sa théorie des activités de classifications propres non seulement à l'enfant, mais aussi au naturaliste :

La circularité dialectique des prédicats, concepts, jugements et inférences avec son double mouvement ascendant de composition et descendant de multiplication des possibles et de justification des connexions nécessaires est de nature à enrichir la théorie des emboîtements par ce dépassement du réel (auquel se limitent les compositions ascendantes) dans la double direction du possible et du nécessaire (rétroactions descendantes) (p. 39).

L'auteur poursuit en montrant comment, en parvenant à embrasser une extension de plus en plus grande d'objets grâce à des concepts de plus en plus englobants, ce mouvement ascendant s'accompagne d'un mouvement descendant qui engendre de plus en plus de sous-emboîtements (comme l'illustre la classification zoologique avec ces genres, espèces, familles, ordres, etc., dont il a déjà été question dans les recherches sur les correspondances et les morphismes).

c. Conclusion

A l'exposé des résultats des deux recherches parallèles considérées dans ce chapitre s'ajoute une conclusion destinée à faire le lien entre celui-ci et les suivants. Dans son introduction générale, l'auteur annonçait que cette étude sur Les formes élémentaires de la dialectique porterait avant tout sur la dialectique des significations attachées aux actions, ou des implications entre actions (l'auteur précise ici que l'implication entre actions ou opérations est vraie ou fausse selon que la signification de la seconde est englobée dans la première, ou du moins lui est solidaire). Certes de telles implications sont absentes du présent chapitre, qui porte avant tout sur une réalité discursive. Mais on trouve un équivalent des prédicats, des concepts, des jugements et des inférences dès le sensori-moteur : aux prédicats correspondrait l'assimilation des observables (par exemple la signification « préhensible » attribuée à un objet lors de son assimilation) ; aux concepts, les schèmes d'assimilation « portant sur les significations communes à plusieurs schèmes » ; aux jugements, « les attributions nouvelles et les différenciations en sous-schèmes » ; enfin « aux inférences correspondent assu-



rément les coordinations de schèmes » (pp. 42-43)¹³⁰. On retrouve ainsi sur le plan sensori-moteur le double processus ascendant, qui permet de passer des significations élémentaires « aux coordinations inférentielles de schèmes » (p. 43), et descendant, avec la multiplication des possibles qui le caractérise.

On soulignera ici la notion de « coordination inférentielle de schèmes », qui est vraisemblablement identique à celle d'« implication entre actions ». Les inférences qui sont en jeu à ce niveau ne sont bien sûr pas discursives ; elles portent sur des « significations inhérentes à un pur « savoir-faire » déjà à l'œuvre en de multiples comportements animaux » (p. 43).

Chapitre II : Un exemple élémentaire de dialectique logico-mathématique. Problèmes d'égalisations et construction de différences (avec A. Henriques-Christophides et D. Maurice)

a. Introduction

L'auteur commence par poser la question de l'utilisation du terme de dialectique dans un domaine, les mathématiques, où cette notion n'est pratiquement jamais utilisée (à l'exception, faudrait-il ajouter, des tentatives de certains logiciens de construire des logiques dialectiques). L'absence de cette notion se justifie dans les exposés mathématiques, puisque seules « les déductions fondées sur les structures équilibrées [ainsi que] leur formalisation » relèvent de la science mathématique (p. 46). Ceci ne signifie pas que les processus dialectiques n'interviennent pas sur le plan de la pensée mathématique. On les trouve « sur le terrain de l'invention et de l'heuristique » (id.). Ils correspondent à l'aspect inférentiel (et non pas causal) des processus d'équilibration intervenant dans la résolution de problèmes et la construction des nouvelles réalités mathématiques.

Ici Piaget donne une précision sur la distinction entre les aspects causal et inférentiel. « L'aspect ' causal ' est caractérisé par l'effectuation des opérations et les réactions à leurs résultats constatés par lectures ' pseudo-empiriques '. L'aspect inférentiel consiste [...] en implications entre moyens et buts [...] et surtout en implications entre règles ou actions » (pp. 46-47 ; peut-être l'auteur aurait-il pu ajouter la présence d'implications entre observables).

Dans l'expérience dont il va être question, il sera question d'un passage « de purs constats pseudo-empiriques [...] à des inférences par implications entre opérations » permettant, par exemple, d'égaliser des quantités numériques inégales.

b. Le problème

¹³⁰ Inutile de dire qu'on aurait souhaité des déterminations plus précises et des illustrations concernant cette transposition, sur le plan des schèmes sensori-moteurs, de la dialectique prédicats-concepts-jugements-inférences.



Deux ou trois collections contenant chacune un petit nombre d'objets (entre trois et sept) sont présentées aux enfants. Il s'agit pour ceux-ci soit d'égaliser des collections au départ inégales, soit inversement de rendre inégales des collections égales (par exemple, étant donné deux colonnes de quatre éléments, faire en sorte que l'une des deux ait deux éléments de plus que l'autre). En plus de ces collections de départ, les sujets ont à leur disposition une réserve dans laquelle ils pourront en certaines situations puiser des objets pour résoudre le problème qui leur est posé.

c. Les résultats

A un niveau IA (les sujets mentionnés ont entre 3 ans H et 6 ans 10 mois), les solutions aux problèmes seraient basées sur de « fausses implications entre actions ». Piaget donne l'exemple d'un enfant qui met un élément dans chacune des collections inégales, en croyant par là même éliminer leur différence. Dans cet exemple, il est évident que le sujet attribue une signification erronée à l'action d'ajouter. Mais il est difficile de voir en quoi il y a « fausse implication entre actions ». Peut-être réside-t-elle dans la fausse liaison logique établie entre les deux actions « d'ajouter un nombre égal » et « d'égaliser » ? Ce qui est par contre certain, c'est qu'à ce niveau, il n'y a effectivement pas d'implication entre les actions d'ajouter et d'enlever.

Au niveau IB (à peu près aux mêmes âges que pour IA), il y a un début d'interaction entre les additions et les soustractions, mais seulement entre la saisie d'éléments dans une réserve de jetons et l'ajout de ces éléments dans la collection dont le sujet veut augmenter le nombre. Par contre, dès que l'expérimentateur demande à l'enfant d'égaliser deux collections inégales en prenant des jetons non pas dans la réserve mais dans la collection en surnombre, il ne tient pas compte de l'opération de soustraction conjointe à celle d'addition. Mais déjà toute une série d'implications implicites viennent enrichir les actions d'addition et de soustraction (par exemple le fait que si l'on ajoute le même nombre d'éléments à deux collections, cet ajout ne modifie pas leur égalité ou leur inégalité). Tout ceci démontre que, s'il n'y a certes pas encore de « synthèse dialectique » (p. 57) entre l'addition et la soustraction, il y a tout au moins un « début de dialectisation » des deux actions dans la mesure où le sujet sait qu'il peut égaliser soit en ajoutant soit en enlevant des éléments à l'une ou l'autre des deux collections.

Au niveau IIA (6-7 ans environ), l'implication selon laquelle un déplacement de n éléments d'une collection à l'autre induit une différence plus grande que n commence à être comprise, même si c'est imparfaitement (puisque cette différence plus grande n'est pas encore conçue comme étant nécessairement égale à $2n$). Le point important est que, dès lors, le sujet sait qu'ajouter un certain nombre d'éléments à l'une des deux collections en prenant ces éléments dans l'autre, c'est en même temps soustraire un certain nombre d'éléments à la seconde. Ce qui manque encore pour comprendre la loi du $2n$ est la compréhension qu'il y a forcément égalité de l'addition et de la soustraction, puisque ce sont les mêmes éléments qui sont ajoutés d'un côté et enlevés de l'autre. Les enfants peuvent bien acquérir pseudo-empiriquement cette loi ; mais tant qu'ils ne comprennent pas cette identité des additions et des soustractions en jeu dans cette situation, ils ne sont sûrs de rien.



Le niveau IIB est celui de la compréhension de la loi $2n$. Dès lors le sujet peut « équilibrer en égalisation » (p. 63) des collections inégales en se donnant d'emblée un programme d'action déduit de la différence constatée (ce processus de planification des opérations est particulièrement visible dans les situations où il s'agit d'égaliser trois collections soit en puisant dans la réserve, soit en puisant dans l'une ou l'autre des collections).

Au niveau III (vers 11-12 ans), le sujet peut résoudre des problèmes où il est question de collections cachées, avec transferts d'éléments de la première à la deuxième, et de la deuxième à la troisième, ou bien où il s'agit d'inventer des problèmes similaires à ceux qu'il a résolus.

En bref, les réponses constatées dans cette recherche confirment « les hypothèses proposées selon lesquelles la dialectique constitue l'aspect inférentiel de l'équilibration » (p. 66)¹³¹. L'équilibration se fait ici à la fois « causalement », par le fait que les résultats de l'action d'addition sont parfaitement compensés par ceux de la soustraction, et inférentiellement. En ce qui concerne le caractère inférentiel de l'équilibration, il se manifeste à travers les liens logiques (d'implication) établis par le sujet entre ces actions opposées, à travers la nécessité qu'il peut alors reconnaître aux compositions de ces actions, à travers les raisons qu'il peut avancer pour justifier ces liens, et enfin à travers les anticipations et planifications sans erreurs (sauf de distraction ou de mémoire) qu'il peut faire pour atteindre un certain but.

Chapitre III : Un système de déplacements spatio-temporels (avec R. Zobel et E. Rappe du Cher)

a. Problème

Il s'agit d'une sorte de jeu d'échecs simplifié (des flèches sont collées sur les pions, indiquant les directions dans lesquelles on peut les déplacer). La signification est ici mouvante, puisque chaque nouveau coup de l'un ou de l'autre des partenaires change d'une certaine façon la situation. D'autre part, les implications ne portent plus seulement sur les actions propres, mais également sur celles du partenaire, dont il s'agit de prévoir les manœuvres qui lui sont possibles.

¹³¹ Il est assez évident que Piaget joue un peu ici avec la notion de vérification d'hypothèse. De fait, les constats établis lors des anciens travaux sur le développement des opérations numériques sont proches des constats faits ici. La thèse en question est donc moins une hypothèse qu'une interprétation de ces anciens faits, que vient renforcer une lecture attentive des données recueillies dans cette nouvelle recherche. Comme nous l'avions déjà observé dans une étude sur la formation de la pensée de Piaget, la méthode préférentiellement utilisée par celui-ci pour construire progressivement ses notions et ses conceptions est moins hypothético-déductive qu'« empirico-théorique ».



b. Résultats

Au niveau IA (les conduites rapportées concernent un enfant de 3 ans H), le sujet se borne à déplacer individuellement les pièces, sans se soucier des relations en jeu et sans qu'il y ait d'implications entre actions. Au niveau IB par contre (entre 4 et 5 ans), il reconnaît la signification attribuée aux flèches. Un enfant pourra ainsi dire qu'un pion ne peut pas aller à une certaine place, « parce qu'il n'a pas des flèches pour aller là » (p. 71). De plus les sujets de ce niveau commencent à tirer des liens d'implication entre actions, par exemple affirmer que si tel pion est déplacé sur telle case, alors il pourra « manger » un pion adverse, ou inversement affirmer que pour éviter d'être pris par un pion de l'expérimentateur, il s'agit de déplacer un pion propre sur une autre case. Mais de telles implications ne se font alors que par rapport à une situation perçue. Il n'est pas encore possible au sujet de tenir compte de compositions successives d'actions, ni même de l'ordre actuel dans lequel il revient aux joueurs de déplacer leurs pions. Les simples relations de voisinage spatial effacent toute considération des successions temporelles possibles. Les implications d'actions sont alors faussement intemporelles, dans le sens très limité du simultané actuel. De là résulte une coordination largement insuffisante entre les actions des joueurs.

C'est avec le niveau IIA, vers 7-8 ans, que commencent les implications tenant compte de l'ordre temporel des actions, mais sans considération autre que très partielle des coups que pourrait réaliser l'adversaire en fonction du déplacement d'un pion de l'enfant, et en fonction d'un programme d'action que l'adulte pourrait avoir de son côté. Par contre, en ce qui le concerne et face à une situation donnée, le sujet peut considérer plusieurs possibilités d'action. Sans pouvoir planifier une série de coups possibles intégrant de possibles réactions de l'adversaire, l'enfant de ce niveau peut aussi se donner non pas un programme, mais un projet (par exemple le projet de déplacer tel pion vers telle région de l'échiquier). Il pourra pourtant tomber alors dans le piège de considérer son partenaire non pas comme un adversaire, mais comme quelqu'un qui l'aidera à parvenir à ses fins, oubliant que cet adversaire a des visées contraires aux siennes.

Au niveau IIB et III par contre, les sujets s'efforcent systématiquement de tenir compte des coups possibles de l'adversaire pour tenter de développer un programme d'actions qui pourrait les conduire à telle ou telle fin. Dès lors les anticipations que réalise le sujet ne portent plus sur des aspects locaux, mais tiennent compte des transformations de la situation d'ensemble à chacun des coups des deux joueurs. Enfin, au niveau III, il tente aussi de réaliser des coups lui permettant de bloquer un pion de l'adversaire, comme il peut revenir sur des situations passées pour imaginer des coups qui n'ont pas été réalisés et en déduire ce qui se serait passé s'ils l'avaient été.

En résumé, Piaget distingue dans ces résultats différents niveaux d'implications. Au niveau IB, on trouve seulement des implications directes, « ne portant que sur les observables spatiaux » (p. 84), mais qui peuvent comporter des formes négatives (par exemple « ne pas mettre tel pion à tel endroit, autrement il sera attrapé »). Au niveau IIA apparaissent des implications spatio-temporelles composées ; par exemple, pour deux pions, une série de coups possibles les concernant : celui-ci est bougé de telle façon, en conséquence celui-là se déplacera aussi d'une certaine façon, d'où tel nouveau déplacement pour le premier, etc. Dès le niveau IIB les implications deviennent « transformationnelles », dans la mesure où c'est l'ensemble des états du système



dont le sujet tend à prévoir les transformations. Au niveau III enfin, celui-ci devient capable de construction après coup du type : « ceci aurait pu aussi être fait dans telle ou telle situation ».

Chapitre IV : D'un ordre direct à son inverse (avec A. Boder et D. Crapon de Caprona)

a. Le problème

Il s'agit d'un jeu de taquin simplifié dans lequel se suivent dans l'ordre, d'un à six, et sur deux colonnes comportant chacune trois cases : une locomotive, un wagon blanc et un wagon brun, pour la première colonne, et deux plots blancs identiques sur les deux cases de la seconde colonne (la dernière case est vide). Le problème pour l'enfant est de déplacer sans les lever les différents éléments, de telle façon qu'à la fin la locomotive soit en position six, le wagon blanc en position cinq et le wagon brun en position quatre.

b. Les résultats

Au niveau IA (4 ans environ) on ne constate « ni compositions anticipées entre déplacements ni donc d'implications entre actions » (p. 86), cela quand bien même au niveau de la consigne le sujet comprend que, si la locomotive doit être mise en position six, alors le wagon blanc sera en position cinq. Comment donc interpréter, d'une part cette compréhension de la consigne, et d'autre part l'incapacité de réaliser une composition d'actions permettant au sujet d'atteindre le but autrement que par purs tâtonnements, ou alors par la simple action de remplir successivement la case vide avec l'élément qui la précède, ce qui le conduit automatiquement à la solution, mais sans qu'il comprenne pourquoi ? Curieusement Piaget ne cherche pas à répondre à cette question, peut-être parce que la compréhension de la consigne ne met en jeu aucune implication entre actions, mais seulement une implication entre une « règle » (le wagon blanc est derrière la locomotive) et ce qui en résulte pour le placement lors de la situation finale. Quoi qu'il en soit, il est de fait que le sujet de ce niveau ne coordonne pas ses actions en vue du but à atteindre.

Le niveau IB se caractérise par contre par des débuts de coordinations. Par exemple, se fixant un but (notamment celui de mettre la locomotive en position six), un enfant pourra en déduire (par l'action) qu'il faut déplacer les plots blancs vers la position vide, cela pour pouvoir rapprocher la locomotive du but fixé en la déplaçant là où était l'un des deux plots. Traduite sur le plan verbal, l'implication entre actions serait quelque chose comme « si je mets le plot du haut un cran plus bas, alors la locomotive pourra venir occuper sa place, ce qui la rapprochera du but ». Mais à ce niveau, toutes les implications entre actions se font en fonction du déplacement d'un élément vers un but fixé. Lorsque certains déplacements réalisés en fonction d'un tel

1	4
2	5
3	6



but conduisent à une impasse, le sujet est bloqué et tend à juger que le problème est insoluble.

Au niveau IIA, le sujet parvient par différentes compositions d'actions à inverser l'ordre de la locomotive et des wagons. Il considère aussi d'emblée comme de même nature le problème de l'inversion directe et le problème du retour au point de départ (donc de l'inversion de l'inversion). De plus, il commence à considérer différentes possibilités pour aboutir à un sous-but, et à s'apercevoir que certains enchaînements d'actions sont nécessaires pour l'atteindre.

Lorsqu'il n'y a pas d'emblée utilisation de la solution la plus simple (par exemple lorsque l'expérimentateur fixe des positions intermédiaires), les tâtonnements qui subsistent au niveau II sont intéressants à considérer du point de vue des relations entre l'équilibration causale des actions (le sujet agit et constate les résultats de son action) et les inférences qui l'accompagnent. En certains cas, le sujet se laisse guider par les tâtonnements non inférentiellement dirigés de l'action pour tirer ensuite des implications simples ou directes entre ses actions et leurs résultats. En d'autres cas, ce sont au contraire des anticipations inférentielles qui guident une suite d'actions. Mais dès lors, les implications tendent à devenir « nécessaires, du fait de leurs compositions possibles » (p. 98).

Au niveau III enfin (11-12 ans environ), les inférences l'emportent largement sur les tâtonnements, ce qui permet au sujet de comprendre immédiatement la solution la plus simple (le déplacement circulaire), mais aussi de prévoir beaucoup mieux les chemins possibles et les obstacles lorsque l'expérimentateur crée une situation intermédiaire qui ne s'inscrit pas dans cette simple solution. Il peut aussi assez aisément découvrir la similitude des solutions par rapport à des configurations intermédiaires apparemment différentes.

Chapitre V : Le système multitransformationnel de pivotements (avec A. Blanchet et C. Coll)

a. Le problème

Le problème général auquel sont confrontés les sujets est celui de prévoir les chemins et les points d'arrivée de billes tombant les unes après les autres dans un dispositif composé de bifurcations successives, avec à chaque fois un pivot faisant partir une bille dans l'une ou l'autre branche de la bifurcation correspondante, le pivot tournant alors sur lui-même de telle sorte que la prochaine bille qui parviendra à la même bifurcation partira de l'autre côté. Une première bifurcation I est suivie par deux bifurcations II et III, elles-mêmes suivies par quatre autres, de telle sorte qu'à l'arrivée les billes pourront tomber dans l'un des huit casiers auxquels parviennent les huit chemins issus des quatre dernières bifurcations. Pour prendre un exemple, si tous les pivots sont initialement orientés de manière à faire tomber les billes à droite, la première bille arrivera dans le casier le plus à droite (le huitième, disons) ; quant à la seconde, elle tombera forcément dans le casier le plus à droite de la moitié des casiers se trouvant le plus à gauche (donc dans la quatrième case), etc. On voit que pour obtenir une prévision correcte, par exemple sur le nombre de billes qu'il faut

drait jeter pour qu'une nouvelle bille tombe dans telle ou telle case, le sujet devra à chaque coup intégrer les trois transformations successives produites sur les pivots de chacun des trois niveaux (donc le pivot I, l'un des deux pivots II et III, et enfin l'un des quatre derniers pivots).

Pour les enfants les plus jeunes, la situation est simplifiée de telle sorte qu'elle ne contient que les trois premières bifurcations, voire même seulement celle de départ (en ce cas les cases d'arrivée se réduisent à deux).

b. Les résultats

Au niveau IA (5 ans), plusieurs constats sont nécessaires pour qu'un enfant puisse prévoir que, dans le cas de la solution la plus simple (un seul pivot), la bille va à chaque nouveau lancement changer de côté d'arrivée. Avant ces lectures répétées de l'expérience, certains sujets peuvent même considérer que, pour que la bille change de côté, il faut que le pivot I reste orienté du même côté. Ensuite, il suffit d'ajouter les pivots II et III au dispositif, pour que les sujets ne parviennent plus à prévoir correctement où ira la bille au prochain coup. Ils peuvent cependant suivre de leur doigt le chemin parcouru par la bille si on leur demande non pas d'anticiper l'arrivée, mais de décrire son trajet. Il y a ici un début d'implications entre actions, mais de manière qui reste locale (si la bille est arrivée à ce point-là, elle ira là). Mais les enfants ne voient pas que l'orientation des pivots se trouvant aux étages inférieurs du dispositif dépend de l'orientation des pivots se trouvant au-dessus d'eux. La dialectique consistant à « établir des intégrations entre systèmes » (p. 105), il apparaît que le sujet du niveau IA « demeure entièrement pré dialectique, faute d'aboutir aux intégrations les plus élémentaires » (p. 105).

Au niveau IB, l'alternance induite par la présence d'un pivot est d'emblée comprise, « mais l'intégration en [situation avec les trois pivots I, II, III] et surtout en [situation avec les sept pivots] ne l'est que partiellement, sans nécessité et [...] après seulement plusieurs trajets guidés par le doigt » (p. 106). Parmi les difficultés très significatives des sujets de ce niveau se trouve l'incapacité de retrouver quel fut le trajet de la dernière bille, connaissant le chemin que suivra la bille non encore lancée (cette connaissance est fournie par la direction des pivots qui, à chaque bifurcation, indique le chemin à parcourir). Ce « défaut d'implication rétroactive » (p. 107) fait comprendre pourquoi le trajet que le sujet peut prévoir en suivant plus ou moins laborieusement les indications données par l'orientation des pivots ne paraît pas, pour chaque section, résulter nécessairement de l'orientation des pivots supérieurs. La nécessité du chemin actuel résulte des inversions de sens induites par le trajet précédemment réalisé. Ce n'est que lorsque les inversions successives commenceront à être reliées, tant en direction rétroactive qu'en direction proactive, que des processus dialectiques d'intégration entre les étages se produiront.

C'est seulement au niveau IIA qu'il y a « implications entre actions » dans l'anticipation des trajets. Cette compréhension, qui intègre les différents étages des pivots et permet l'anticipation, apparaît simultanément avec la capacité des sujets de reconstruire le trajet antérieur « en inversant ceux des pivots qui avaient été modifiés pour le trajet actuel et en ne touchant pas aux autres » (p. 109). Par contre il suffit de cacher les pivots et de coder leur orientation gauche ou droite au moyen des indices 0 et 1,



puis de reposer des questions similaires d'anticipations, pour que les mêmes sujets ne parviennent plus à intégrer les trois étages de pivots.

Au niveau IIB, il peut sembler y avoir un recul dans les anticipations des enfants, mais c'est que les sujets de 9-10 ans cherchent systématiquement à déduire les transformations et les trajets en jeu (dans le cas où des caches sont placés dès le départ sur les pivots, certains sujets peuvent même faire intervenir la force avec laquelle une bille est lancée).

Enfin le niveau III est celui des intégrations réussies, avec parfois encore certains tâtonnements.

Dans ses conclusions, Piaget note les nombreux dépassements dialectiques que les sujets doivent accomplir pour maîtriser les différentes composantes de cette recherche, à savoir les inversions de mouvements ou de directions, les intégrations entre les pivots des différents étages, ainsi que les anticipations des chemins, mais aussi les reconstitutions des trajets antérieurs, basées sur ces inversions et intégrations. Il souligne également la forte composante temporelle ou historique qui intervient dans l'enchaînement des actions. D'autres composantes (comme le jeu des symétries et des dissymétries entre les points d'arrivée des billes) peuvent en outre se voir intégrées dans les solutions des sujets. En bref, tout dans cette recherche relèverait « d'inversions et d'intégrations, donc des deux caractères principaux (oppositions et interdépendances) de la dialectique » (p. 117). Et si les intégrations simples reliant les inversions spatiales sont isolément comprises dès le niveau IB, il faut attendre les niveaux IIA (pour les cas simples) et III (pour les cas les plus complexes, y compris les situations avec caches) pour que les inversions temporelles consistant en intégrations dans les deux sens (l'anticipation de haut en bas et la reconstitution de bas en haut) le soient à leur tour.

Chapitre VI : Dialectique et conservations spatio-numériques (avec E. Ackermann-Valladao et K. Noschis)

a. Introduction

Le propre des situations de conservation est de suggérer de nombreuses transformations, dont le sujet finira par découvrir qu'elles conservent un invariant non donné dans les observables initiaux. Alors que dans les recherches précédentes les processus dialectiques se caractérisaient par l'intégration de sous-systèmes aboutissant à leur enrichissement, dans le cas de la construction des conservations, s'il y a également une intégration, celle-ci aboutit non pas à des enrichissements, mais à des compensations : « si le tout se conserve, c'est que l'accroissement de l'une de ses parties est compensé par la diminution d'une autre, et réciproquement » (p. 120).

Pour étudier le processus dialectique particulier qui intervient dans la construction des conservations, les expérimentateurs ont choisi de reprendre le problème de la conservation du volume.



b. Le problème

Comme dans l'un des chapitres de l'étude déjà ancienne sur La géométrie spontanée de l'enfant, la tâche pour le sujet est de construire, sur des « îles » de différentes surfaces tracées sur un carton, des « maisons » de même volume qu'un modèle (celui-ci est de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ de surface et de 3 cm de hauteur ; les îles ont des surfaces de 4×3 , 2×2 , 1×1 , 4×1 et $3 \times 1 \text{ cm}^2$). A la différence de cette ancienne recherche, l'expérimentateur commence par suggérer des stratégies de dénombrement, en particulier dans une première étape lors de laquelle la tâche du sujet est de construire une copie du modèle. Cette manière de présenter le problème et de suggérer de premières solutions débouchera sur un certain nombre de contradictions entre les aspects numériques et les aspects spatiaux de la tâche.

c. Les résultats

Au niveau IA (vers 5-6 ans), les enfants n'ont naturellement pas acquis la conservation du volume, et plusieurs d'entre eux ne parviennent même pas à copier le modèle. Par contre, lorsqu'on leur demande de construire une maison qui ait le même volume (le même nombre de chambres) et prenne toute la surface d'une île de 4 sur 3, ils respectent cette dernière consigne, mais construisent trois étages, pour égaliser les hauteurs de leur construction et celle du modèle. Cette construction aboutit alors à un conflit, les sujets n'ayant aucune peine à estimer que ses habitants ont plus de place que ceux de la maison modèle. Le fait qu'ils commencent par se centrer sur la hauteur et de considérer celle-ci comme représentant la grandeur totale est conforme à ce que l'on sait de cette étape du développement lors de laquelle il y a une sorte de « solidarité abusive », de « coalescence » entre les parties d'un tout. Après construction, ils voient bien qu'il y a un problème, mais ils ne peuvent coordonner les différentes variables (la largeur, la longueur, la hauteur, le nombre d'éléments) qui interviennent dans cette tâche, et qui sont mal différenciées les unes des autres.

Selon Piaget, deux facteurs expliquent fondamentalement cette incapacité des enfants de niveau IA : « l'absence d'une notion suffisamment signifiante de la quantité et surtout [...] l'absence d'interdépendances par compensations des sous-systèmes » (p. 127). Ces sujets ne voient pas que la composante hauteur peut être compensée par l'une ou l'autre des composantes de la surface (ou par celle-ci).

Au niveau IB (vers 6-7 ans), les sujets parviennent à dépasser le conflit décrit ci-dessus en enlevant des plots à leur construction. Ayant acquis le nombre opératoire et sachant qu'il y a douze chambres dans la maison modèle, ils découvrent plus ou moins rapidement qu'il suffit de bâtir une maison d'un étage sur l'île de 4×3 , la hauteur étant alors compensée par la plus grande surface. Ils savent alors que la quantité en jeu ne dépend pas d'une seule variable, mais de plusieurs. Ils savent aussi qu'à une même quantité de surface peuvent correspondre plusieurs formes, les parties composant la totalité variant alors de manière interdépendante. Les sous-systèmes, au lieu de répondre à une fausse conservation mutuelle, « sont soumis à une loi de compensation nécessaire » (p. 131). En un mot, « il y a découverte et généralisation de la ' commutabilité ' » (id.).



Au niveau II enfin (7 ans environ), le sujet déduit immédiatement de sa connaissance du nombre de chambres le fait que la maison construite sur l'île de 3x4 ne contiendra qu'un étage.

Chapitre VII : Les aspects dialectiques de la construction d'un objet (avec I. Berthoud-Papandropoulou et H. Kilcher)

a. Le problème

Soit trois camions de hauteur différente et des plots de hauteur inégale, que l'on donnera en plus ou moins grand nombre au sujet en lui demandant de construire un pont de telle sorte que tous les camions puissent passer au-dessous, ou encore que seul le petit véhicule (ou au contraire, question piège, le grand) le puisse. Par ailleurs à la fin de l'entretien, l'expérimentateur ajoute de nouveaux plots, dont trois inutilisables (un demi-cercle, un cylindre et un triangle) en demandant au sujet de choisir des éléments avec lesquels il n'est pas possible de construire un pont.

b. Les résultats

Au niveau IA (vers 3-4 ans), lorsque les enfants constatent que le pont qu'ils ont construit ne permet pas de faire passer les camions, ils choisissent très curieusement de l'allonger au lieu de chercher à l'élever. C'est comme si pour eux « l'élargissement suffisait à assurer l'agrandissement » (p. 135), ce qui d'ailleurs va dans le même sens que les réponses des sujets de même niveau lors de la recherche précédente, où ils tendaient à réduire l'ensemble des variables à la hauteur (qu'au contraire les enfants se centrent ici sur la largeur du pont et non pas sur sa hauteur, alors que c'est celle-ci qu'il s'agirait de traiter n'est pas vraiment surprenant : il est plus facile de déplacer les piliers déjà posés pour allonger le tablier plutôt que de les surélever). Cela dit, il suffit que l'expérimentateur repose la question de savoir si, le pont modifié, le camion pourra maintenant passer au-dessous, pour que le sujet sente que sa nouvelle construction pose problème. Mais comme par ailleurs il a allongé l'édifice, il écarte ce problème et soutient que le camion passera. Finalement, on retrouve dans cette activité de construction d'un pont le genre de « totalités 'coalescentes' » qui précèdent les « interdépendances dialectiquement construites par synthèses ou dépassements surmontant les conflits » (p. 139).

Au niveau IB (vers 4-5 ans) le constat que la solution de l'allongement du pont ne résout pas le problème conduit les enfants à se centrer sur la hauteur. Contrairement à la recherche précédente, le changement de centration n'amènera pas une compensation entre les variables en jeu, puisque maintenant l'allongement du pont n'est pas pertinent par rapport au problème posé. Néanmoins, ce changement de centration rend le sujet pareillement attentif au fait que la grandeur d'un pont dépend elle aussi de plusieurs variables, qui ne sont alors plus fusionnées en une totalité coalescente et commencent à être mises en relation d'interdépendances. Il découvre en même temps que les piliers ne sont pas qu'un support pour poser le tablier du pont, mais qu'ils permettent aussi de modifier la hauteur de l'édifice. Les processus de dépassement



d'un obstacle conduisent dès lors le sujet à modifier la signification qu'il accordait initialement aux divers éléments de la situation.

Au niveau II (6-8 ans environ), les enfants se donnent immédiatement pour but d'élever les piliers pour que les camions puissent passer sous le tablier du pont initialement construit trop bas (en fonction du nombre insuffisant d'éléments initialement à disposition). Quant au niveau III (9-11 ans), on retrouve cette façon qu'ont les sujets de cet âge de s'appuyer moins sur des tâtonnements empiriques (pouvant introduire de nouveaux obstacles à dépasser) que sur des anticipations pour produire une solution aux problèmes rencontrés. C'est à ce niveau que les « implications entre actions atteignent le rang d'inférences opératoires » (p. 152).

L'auteur conclut cette recherche en soulignant le fait que les processus dialectiques n'interviennent pas seulement dans des situations où des opérations bien définies sont en jeu, mais aussi dans la résolution d'un problème « d'intelligence purement pratique » (p. 149). Il revient également sur les transformations de significations qui accompagnent cette résolution progressive, et décrit un certain nombre de pseudo-nécessités ou de pseudo-obligations que peut rencontrer le sujet au cours de cette progression (par exemple la pseudo-obligation, qui parfois subsiste assez longtemps, d'allonger le pont en même temps que d'augmenter sa hauteur).

Chapitre VIII : La découverte des deux sortes de règles suivies par un partenaire (avec M. Bovet et C. Monnier)

a. Le problème

Le sujet et l'expérimentateur ont chacun de leur côté deux collections de jetons, rouges et jaunes pour le premier, verts et bleus pour le second. Chaque fois que l'enfant pose un jeton, l'expérimentateur pose l'un des siens juste en-dessous, en suivant une règle qui, selon les situations, peut ou non dépendre des choix du sujet. Le problème pour celui-ci est alors de découvrir quelle est la règle adoptée par l'expérimentateur. Pour le résoudre, il devra donc intégrer l'examen rétroactif du déjà ordonné et l'anticipation proactive de ce qui devrait être posé, en considérant en plus à chaque étape la correspondance entre les deux lignes de jetons, afin de détecter s'il y a ou non dépendance de la seconde par rapport à la première.

b. Les résultats

Au niveau I (5-7 ans), et dans la situation d'indépendance, le sujet croit pouvoir trouver une relation de dépendance aussi bien dans la suite des jetons de l'adulte par rapport à la sienne que dans le sens inverse (et d'ailleurs, dès le placement du second jeton, il tend à regarder ce que l'expérimentateur a posé pour mettre à son tour le sien). Lorsqu'il constate l'absence de correspondance, il affirme que l'adulte s'est trompé en plaçant ses jetons. Par contre, dans le cas où l'expérimentateur règle ses choix en fonction de ceux de l'enfant, celui-ci reconnaît le rapport de dépendance (par exemple : « quand je mets J vous mettez V et quand je mets B vous mettez R », p. 158).



Il faut attendre le niveau II pour que, dans les situations d'indépendance, les sujets, tout en commençant par faire l'hypothèse d'un rapport de dépendance entre les deux séries de jetons, finissent par admettre l'absence d'un tel rapport. Un enfant d'un peu moins de 9 ans dira par exemple : « j'ai une idée maintenant : même si je mets n'importe comment, vous mettez toujours comme vous avez l'idée » (p. 162). Mais il n'empêche que leur certitude initiale quant à l'existence d'un rapport de dépendance empêche les sujets de ce niveau de trouver aussi rapidement que ceux de niveau III la règle utilisée par l'expérimentateur pour poser ses jetons. Ce qui leur permet de découvrir l'indépendance des deux séries, ce peut être l'absence de toute correspondance régulière des couleurs entre leurs éléments (à deux rouges successifs pourront correspondre par exemple un vert et un bleu), ou encore la découverte brusque de la loi de succession des jetons de l'adulte.

Au niveau III par contre, le sujet met plus rapidement sur le même pied les deux possibilités de dépendance ou d'indépendance des deux séries, et il peut par exemple assez vite chercher à tester si une telle correspondance existe ou non (un enfant de près de 11 ans dira poser ses jetons « pour voir si » l'adulte fait comme lui, p. 166).

En définitive, ce qui caractérise le plus cette recherche est la façon dont les sujets parviennent à dépasser la croyance en une « pseudo-dépendance » entre deux systèmes indépendants. Ce dépassement ne consiste pas alors à construire une synthèse de ceux-ci, mais à concevoir de « nouveaux possibles » (p. 167). En se basant sur l'analyse rétroactive des jetons déjà posés par l'expérimentateur (donc sur le « réel »), les sujets pourront dès lors découvrir la règle suivie par celui-ci, ou au moins faire des hypothèses qui seront ou non confirmées par les constats ultérieurs.

Chapitre IX : Un cas d'interdépendance entre les actions exploratrices du sujet (avec A. Wells et L. Banks)

a. Le problème

Soit une grille carrée composée de trente-six cases. Soit en outre trois objets, une règle, un crayon et une gomme. La règle est composée de quatre parties, le crayon de trois et la gomme de deux. Ces parties sont placées sans recouvrement entre elles en différents endroits de la grille. Le sujet ne voit pas cette dernière, ni les objets placés sur elle ; mais il a sous les yeux le dessin d'une grille identique et une copie de chacun des objets, avec leurs parties alors dissociées. Le jeu va être pour lui de désigner des cases de la grille invisible par l'intermédiaire de la sienne, de trouver peu à peu où sont placés les objets, et de les reconstituer sur sa propre grille (si un objet se trouve effectivement sous la case correspondant à celle désignée par l'enfant, alors l'expérimentateur informe celui-ci, mais sans lui donner le nom de cet objet). Lorsqu'il trouve une partie, il peut placer la copie correspondante sur sa propre grille et corriger toute action passée s'il juge qu'il s'était précédemment trompé. Enfin, chaque fois qu'il désigne une case vide, il peut placer un plot blanc sur sa grille.

On voit que le problème est pour le sujet de composer ses actions d'exploration en fonction des formes connues des trois objets et des conditions de l'expérience (intégrité et absence de recouvrement des objets).



b. Les résultats

Au niveau IA (4-5 ans), lorsque le sujet découvre une partie d'objet, il ne cherche pas à explorer les cases avoisinantes de la grille pour mettre à l'épreuve sa croyance que cet objet est, par exemple, la gomme, cela alors même que certains morceaux peuvent être identiques d'un objet à l'autre. Il est alors certain d'avoir trouvé la solution. En continuant le jeu, il peut certes découvrir une autre partie de l'objet qu'il croit avoir découvert, partie alors située à un emplacement qui contredit la condition d'intégrité. Il ne montre pourtant aucune surprise et ne corrige pas ses croyances antérieures de manière à les rendre compatibles avec une reconstitution de la totalité de l'objet (il attribue à l'emplacement où il croit avoir découvert la partie d'un objet un caractère obligé).

A ce premier niveau, il n'y a donc pratiquement aucune interdépendance entre les actions successives du sujet, dans la mesure où celui-ci ne tente pas d'agir en tenant compte des actions déjà faites et de leurs résultats. On voit donc que les progrès ultérieurs proviendront des efforts accomplis pour vérifier que c'est bien tel objet qui a été découvert, notamment en recherchant si une autre partie de l'objet n'est pas dans la région voisine de la partie découverte, comme ils proviendront des actions entreprises pour reconstituer chacun des trois objets dans son intégrité. « En un mot, conclut Piaget, les réactions de ce niveau initial IA consistent en affirmations et en décisions ne tenant compte ni des conditions préalables ni des conséquences obligées » (p. 178).

Il faut attendre le niveau IB (vers 6-7 ans) pour que le sujet commence à introduire des liens d'interdépendance entre ses actions. Trouvant une partie qu'il croit appartenir à tel objet, il pourra avoir l'idée d'explorer l'une des cases voisines de celle correspondant à sa découverte afin de voir si ce voisinage ne contient pas une autre partie du même objet. Mais il n'explorera pas systématiquement les autres en cas d'échec. Par ailleurs, la découverte en un autre endroit de la grille d'une partie d'un objet qu'il croyait avoir déjà repéré (confondant donc momentanément l'un des objets avec un autre) l'amènera souvent à déplacer la partie précédemment découverte, et à corriger ainsi une ancienne action.

A ce niveau IB, le sujet peut donc maintenant tenir compte des conditions d'une exploration particulière : telle condition d'une action semblant respectée, le sujet effectue celle-ci afin de satisfaire cette condition (par exemple, déplacer une partie d'objet pour la rapprocher d'une autre auprès de laquelle elle doit nécessairement se trouver). Par contre il n'a pas encore l'idée d'explorer l'ensemble des conséquences nécessaires d'une découverte.

Etant donné telle ou telle information sur une partie d'un objet, cette capacité d'en déduire les actions possiblement fructueuses apparaît au niveau II (vers 7-9 ans), ce qui permet au sujet de commencer à systématiser ses explorations (si une partie d'un objet est sur telle case, alors telle autre partie devrait être sur l'une des cases avoisinantes). Enfin au niveau III (10-11 ans), les sujets savent trouver des méthodes efficaces pour découvrir le plus rapidement possible où et comment se situent les objets sur la grille de l'expérimentateur. Ils peuvent par exemple se donner dès le départ l'objectif de « chercher les régions importantes avant d'explorer le détail des voisinages » (p. 186). Ces méthodes leur permettent de déduire très vite, par un certain nombre d'implications typiques entre actions et significations (dont celle du



niveau II mentionnée ci-dessus), les possibilités de placement des objets, dont ils conçoivent la multiplicité initiale.

En conclusion, les processus dialectiques vont ici porter sur la construction « d'interdépendances entre possibilités avant de savoir lesquelles s'actualisent [... Les] possibles pour un même objet étant incompatibles entre eux et pouvant l'être avec ceux d'un autre, seule une synthèse de ces actualisations permet de surmonter ces conflits virtuels » (p. 188). Ce qui entraînera ces dépassements, ce sont les implications entre actions que les sujets établissent progressivement à partir du niveau IB (où est déjà présente cette implication globale, non complètement exploitée, selon laquelle les parties d'une totalité sont contiguës les unes aux autres).

Chapitre X : Dialectique et perspectives (avec A. Ritter)

a. Le problème

Cette recherche reprend, en considérant les réponses des enfants du point de vue du thème de la dialectique, le problème de la coordination des perspectives anciennement étudié dans *La représentation de l'espace chez l'enfant* (Inhelder et Piaget, 1948). Soit une maison avec sa cheminée, ainsi qu'un arbre situé de l'autre côté du toit où se trouve cette cheminée. Les sujets vont devoir représenter ce qu'ils verront de la maison, du sapin et de la cheminée s'ils se déplacent autour de cette maison. Ils pourront le faire soit par des dessins, soit en choisissant des images faites d'avance et en les collant sur les faces d'un cube (certaines de ces images sont correctes, d'autres erronées).

b. Les résultats

Au niveau IA, le sujet choisit toujours l'image qui montre ce qu'il voit actuellement pour représenter ce qu'il verrait en se plaçant face à un autre côté de la maison. Au niveau IB, il sait par contre que ce que l'on voit en changeant de place n'est plus la même chose ; mais il continue par ailleurs de croire que les relations gauche-droite entre les trois objets devraient continuer à être perçues de la même façon, puisque l'emplacement des objets n'est pas modifié. Un dessin représentant la cheminée non plus sur la gauche d'une face vue de la maison, mais sur la droite sera ainsi rejeté sous le prétexte que « la cheminée est toujours à gauche, ça ne peut pas changer » (p. 192). Par contre, en ce qui concerne les positions devant-derrrière, le sujet peut admettre des dessins qui modifient effectivement ces relations perçues d'un certain point de vue.

Le niveau II (de 7 à 10-11 ans) est celui de la « dialectisation progressive des perspectives » (p. 194). Les enfants ne savent certes pas encore anticiper comment ils percevront la maison, la cheminée et l'arbre en se plaçant d'un autre point de vue (notamment à l'opposé du point où ils se situent). Mais, après constat de leur erreur, ils admettront la solution correcte en la justifiant par ce changement de point de vue. Au niveau III enfin, les sujets sauront anticiper d'emblée, parfois avec des erreurs résiduelles, la modification de l'emplacement respectif des objets en fonction du déplacement.



La « dialectisation des perspectives » aboutit ainsi à dépasser la contradiction initiale (niveau IB) entre la croyance que les choses n'apparaîtront pas de la même façon et la croyance que les objets conserveront leurs positions respectives. Elle permet d'admettre que les modifications des relations gauche-droite et avant-arrière constatées à la suite des déplacements autour des objets considérés ne contredisent pas la conservation des relations internes entre ces objets. C'est toutefois seulement au niveau III que le sujet parvient à intégrer en un tout parfaitement déductible les transformations des relations projectives et les changements de perspective.

Chapitre XI : La dialectique face à des relations incompréhensibles (avec S. Dionnet et M. Zinder)

a. Le problème

On présente au sujet le dispositif de « l'oiseau buveur » : un canard métallique ou en verre transparent se penche sur un verre d'eau, plonge son bec dans l'eau, se redresse, replonge son bec, se redresse, et ainsi de suite plusieurs fois, l'eau semblant alors passer du verre dans la tête de l'oiseau, qui finit par se redresser totalement ; l'eau descend alors dans le « ventre » de l'oiseau et le cycle recommence (le canard se penche et plonge à nouveau son bec dans le verre d'eau).

b. Les résultats

Au niveau I les enfants n'évoquent qu'un seul facteur, l'eau ou bien le balancement, qui aurait le pouvoir de faire tout à la fois monter et descendre le canard. Au niveau II, il y a toujours l'idée d'une cause unique, mais dont les effets varieraient en fonction de facteurs variables, comme la quantité d'eau à tel endroit, son poids, etc. Les « actions du poids variant avec ses quantités et ses positions, il y a début d'interactions différenciées entre les deux sous-systèmes de la tête et du corps agissant tour à tour et non plus simple fusion pré dialectique des contraires qu'il s'agirait de coordonner sans les confondre » (p. 206). Enfin le niveau III (stade formel) se caractérise par la recherche de sous-systèmes qui agiraient alternativement sur le phénomène. Celui-ci étant toutefois trop complexe pour être expliqué par des non-physiciens, les sujets font intervenir de nouveaux facteurs à chaque fois que leurs tentatives entraînent des contradictions, tout en sachant que les facteurs qu'ils évoquent sont hypothétiques.

Le dépassement des contradictions par la recherche de deux sous-systèmes dont l'action interviendrait alternativement pour produire un phénomène cyclique apporte ainsi une nouvelle forme de synthèses dialectiques qui vient s'ajouter à celles observées dans les chapitres précédents (enrichissement mutuel de sous-systèmes en interaction, conservation d'un sous-système lors de son intégration en un système de transformation, ou encore conservation d'une totalité par compensation mutuelle des sous-systèmes qui la composent).



Conclusions générales

Dans ses conclusions, Piaget commence par considérer le problème des rapports entre le constructivisme génétique et les conceptions dialectiques d'inspiration hégélienne, pour lesquelles tout processus de dépassement serait du type « thèse-antithèse-synthèse ». Les résultats constatés permettent de corriger sur deux points fondamentaux ces dernières. Premièrement, les processus dialectiques observés dans les recherches précédentes ne sont de loin pas tous identiques à la forme « thèse-antithèse-synthèse ». Deuxièmement, toute activité cognitive ne met pas forcément en œuvre des processus de type dialectique.

A commencer par le second point, les processus dialectiques n'interviennent que dans les phases de construction des structures ou des systèmes cognitifs. Une fois une structure construite, l'activité cognitive peut continuer à produire des connaissances, en procédant alors par des « méthodes discursives » mettant en œuvre des déductions variées qui n'ont rien de dialectique. Ce faisant, cette activité peut certes engendrer les conditions requises pour lancer une nouvelle phase de construction dialectique de nouveaux systèmes. Cette alternance possible entre des phases dialectiques et des phases discursives n'implique cependant pas une réduction des secondes aux premières.

Mais ce qu'apportent les résultats des précédentes recherches, c'est bien sûr surtout une vision plus riche des processus dialectiques que celle basée sur le triptyque « thèse-antithèse-synthèse ». Piaget va considérer différents points à ce sujet. Dans un premier temps il dégagera les caractères communs des processus dialectiques constatés dans ces recherches. Puis il examinera de près la thèse centrale selon laquelle ces processus constituent l'aspect inférentiel de l'équilibration. En troisième lieu il établira la liste des différentes formes d'interdépendances entre systèmes et sous-systèmes constatées chez les sujets. Ensuite il établira un lien entre la dialectique et les processus constructifs intervenant dans les rapports entre le possible et le nécessaire, les relations entre le sujet et les objets, et enfin entre les affirmations et les négations. Une dernière partie sera consacrée à l'examen du statut de la contradiction dans le contexte d'une dialectique essentiellement fondée sur les implications entre actions ou opérations.

a. Les caractères généraux des processus dialectiques

Tout processus dialectique aboutit à la construction de rapports d'interdépendance entre des systèmes « d'abord conçus soit comme opposés soit simplement comme étrangers l'un à l'autre » (p. 214). Le fait que les systèmes initiaux ne soient pas forcément opposés l'un à l'autre est important. Il montre que toute construction dialectique ne revient pas forcément à dépasser des contradictions initiales (au début de sa conclusion l'auteur avait donné l'exemple de la fusion entre les opérations de sériations et celles de classifications, qui aboutit à la création des opérations numériques ; ce processus de fusion intègre des systèmes qui ne sont pas contradictoires l'un avec l'autre).



Par ailleurs des relations d'interdépendance sont construites non seulement entre des systèmes, mais aussi entre les parties d'un même objet. Piaget donne l'exemple des explications intervenant dans la situation de l'oiseau-buveur (notons pourtant qu'il est plus difficile de voir comment ces relations interviennent en d'autres situations).

Un troisième caractère commun aux différentes situations tiendrait dans le fait que toute nouvelle interdépendance engendrerait des dépassements (les anciennes totalités sont intégrées dans la nouvelle). Par exemple, la découverte de la modification de la relation avant-arrière dans la recherche sur les changements de perspective aboutit à un système contenant deux sous-systèmes (le système des rapports fournis par la vision actuelle et le système découlant de la permutation des relations devant-drière).

Intervient aussi de manière très générale la construction circulaire ou en spirale des rapports d'interdépendance. Ainsi « tout progrès dans le sens de la construction proactive provoque des remaniements rétroactifs » (p. 216).

Enfin, toute construction dialectique entraîne des relativisations d'observables ou de notions considérés jusqu'alors comme absolus (par exemple, la propriété « être à gauche de » est relativisée en fonction de la construction de nouvelles interdépendances liant les rapports entre objets avec le point de vue adopté par le sujet).

Mais de manière encore plus générale, dans tous les cas dans lesquels se manifestent des processus dialectiques, ceux-ci paraissent confirmer la thèse selon laquelle « la dialectique constitue l'aspect inférentiel de l'équilibration » (p. 217). Vu l'importance que Piaget accorde à cette thèse, toute une section lui est consacrée.

b. La dialectique, composante inférentielle de l'équilibration cognitive

Le processus d'équilibration à l'œuvre dans la construction de structures cognitives toujours plus riches se présente sous trois formes : 1. l'équilibration entre le sujet et les objets (ou entre l'assimilation et l'accommodation), 2. la coordination des sous-systèmes et 3. l'équilibration entre différenciation (productrice de nouveaux sous-systèmes) et intégration (des sous-systèmes en de nouvelles totalités).

Comment la dialectique s'insère-t-elle dans ces différentes formes ? Les liaisons constructives qui la caractérisent mettent toujours en jeu des implications entre actions ou entre opérations. En effet, les implications discursives, alors même qu'elles portent sur la signification des énoncés, se bornent « à dégager ce qui est déjà contenu dans les termes reliés » (p. 218). Or tout dépassement dialectique « suppose un processus transformationnel », ce qui implique forcément la présence de « constructions opératoires ou préopératoires » (id.). Les actions et les opérations étant forcément transformatrices, les implications qui les relient (ou qui relient leur signification) le sont alors doublement. Piaget donne l'exemple du lien implicatif que le sujet peut introduire entre les actions d'ajouter et de soustraire, ce qui entraîne la compréhension des conservations (ce qui est ajouté quelque part est nécessairement soustrait par ailleurs).

Avant de passer au point suivant, la description des différentes formes d'interdépendance établies par les processus dialectiques, ajoutons encore, au sujet de l'importance accordée aux implications entre actions ou opérations, qu'il est plus difficile de voir comment ces implications apparaissent dans le cadre d'une recherche telle que celle portant sur « l'oiseau-buveur ». Pour le percevoir, il conviendrait proba-



blement d'évoquer les liens entre le progrès des explications physiques d'un côté et celui des opérations logico-mathématiques de l'autre, tels qu'ils ont été clarifiés dans les travaux sur la prise de conscience ou sur l'intelligence pratique. Piaget abordera d'ailleurs en partie ce point lorsqu'il traitera la question des rapports entre la dialectique et la relation sujet-objet.

c. Différentes formes d'interdépendances entre systèmes et sous-systèmes

Les recherches ont mis en évidence au moins huit formes d'interdépendances, dont certaines correspondent directement aux trois formes générales d'équilibration.

La première forme est celle de l'enrichissement mutuel des sous-systèmes mis en relations d'interdépendances (par exemple les prédicats, les concepts, les jugements et les inférences). La deuxième forme est celle des « interdépendances assurant la conservation du système total grâce aux compensations entre les variations des sous-systèmes » (p. 219). La troisième est la coordination de sous-systèmes au sein d'un système les totalisant (exemple : la coordination des perspectives). La quatrième se caractérise par les relations d'interdépendances « multitransformationnelles » qui interviennent au sein d'un système se modifiant dans le temps (exemple : une partie de jeu d'échecs). Une cinquième forme est celle que l'on peut trouver dans les activités successives d'un sujet organisant son action future en fonction des résultats de ses actions passées (exemple : l'activité exploratrice par laquelle un sujet peut reconnaître des objets). Les sixième et septième formes concernent la suite des inversions successives d'une action (rotation dans un sens puis dans l'autre des pièces d'un taquet), ainsi que les rapports d'alternance qui peuvent se présenter entre les actions respectives des sous-systèmes d'une totalité (exemple : l'oiseau-buveur). Enfin la huitième forme est celle qui apparaît dans les situations où le nombre des interactions virtuellement possibles entre les sous-systèmes en jeu est progressivement réduit en raison des découvertes faites à propos du fonctionnement de ces sous-systèmes (exemple : la réduction des rapports de pseudo-dépendances dans l'expérience où le sujet doit deviner la règle d'action que se donne l'expérimentateur pour aligner des jetons de deux couleurs).

Sous toutes ces formes d'interdépendances interviendrait la dialectique par laquelle des rapports de plus en plus étroits se tissent entre le possible et le nécessaire, ce qui nous conduit à l'examen des liens tissés entre la présente recherche sur la dialectique et des thèses touchant elles aussi au problème général de l'équilibration des structures cognitives.

d. La dialectique au sein des rapports entre le possible et le nécessaire, le sujet et l'objet et les affirmations et les négations

Après avoir rappelé le parallélisme mis en évidence dans les recherches antérieures sur les évolutions du possible et du nécessaire, Piaget suggère ici que ce parallélisme serait la conséquence d'un rapport dialectique entre les deux pôles du possible et du nécessaire. De nouvelles acquisitions cognitives entraîneraient la formation de nouveaux possibles entre certains desquels de nouveaux rapports nécessaires pourraient s'établir. La totalité ou structure formée par ces rapports dépasserait ou englo-



berait alors les totalités de départ, permettant à son tour la formation de nouveaux possibles, et ainsi de suite.

Parmi les interdépendances construites au cours de cette double formation dialectique du possible et du nécessaire se trouveraient celles qui lient le sujet et l'objet. « Toute connaissance de l'objet résulte d'actions ou opérations qui le font varier en mettant ainsi en évidence ses propriétés stables ou variationnelles » (p. 222). Mais ce processus par lequel le sujet prend connaissance des objets en agissant sur eux met en œuvre « trois sortes de dialectiques » (id.). Il y a d'abord celle liée à la construction des structures logico-mathématiques, qui est interne au sujet. Il y a ensuite tout le travail cognitif par lequel celui-ci tente de rendre cohérents les multiples constats et les multiples explications qu'il est amené à faire par rapport à la réalité extérieure. Il y a enfin la synthèse, productrice de modèles, que le sujet entreprend entre les résultats de la construction interne des structures logico-mathématiques et ses efforts d'explication du réel.

Enfin, vu l'importance que toute interprétation dialectique d'une transformation de forme accorde au rôle de la négation dans cette transformation, Piaget ne pouvait pas ne pas évoquer dans ses conclusions la dialectique entre affirmations et négations mise en évidence dans les recherches sur la contradiction. Il rappelle en particulier comment le déséquilibre initial de la pensée découle essentiellement du primat des affirmations sur les négations, ce qui est contraire à la thèse du primat de la négativité soutenu par les conceptions classiques de la dialectique. Pour combler le déficit initial des négations par rapport aux affirmations, le sujet devra construire, lors de chaque phase dialectique de formation des structures, les négations permettant de compenser et d'équilibrer les affirmations de départ. Si l'on veut accorder un poids à la négation dans la construction des connaissances, il faut le faire à travers les effets déséquilibrants que provoque son absence. Mais la construction de la négation ne fait pas que combler une lacune ; elle transforme l'affirmation qu'elle vient compléter.

e. Le statut de la contradiction

Les deux dernières pages de l'ouvrage *Les formes élémentaires de la dialectique* traitent du statut à accorder à la contradiction « en une dialectique fondée sur les implications entre actions ou opérations » (p. 225). L'auteur commence par noter que les implications pouvant se produire sur le plan du langage sont bien plus nombreuses que celles pouvant se produire entre actions ou opérations ; le réglage des activités discursives est moins strict que celui de l'action. Il ne peut en effet y avoir de contradiction en ce qui concerne l'aspect causal de l'action. Les contradictions ne peuvent se produire que relativement aux significations attachées aux actions ou aux opérations. Mais vu que la contradiction entre deux actions équivaut « à l'impossibilité de les effectuer toutes deux » (p. 227), il ne peut pas y avoir de contradiction au niveau des implications entre deux actions. Les synthèses dialectiques qui portent sur celles-ci et qui contribuent à la formation de nouveaux systèmes le font donc sur des actions qui peuvent certes avoir des effets contraires (en pouvant alors annuler leurs effets



respectifs), mais qui ne sont en aucun cas contradictoires entre elles (puisque encore une fois le contradictoire équivaut à ce qui est impossible à réaliser).







11. Vers une logique des significations

Considérations préalables

Composé de deux parties, dont la seconde a été rédigée par R. Garcia, cet ouvrage porte sur les derniers travaux que Piaget a pu entièrement diriger au Centre international d'épistémologie génétique pendant l'année universitaire 1978-1979. De même que pour l'étude sur l'évolution du nécessaire précédemment résumée, celui-ci n'a pourtant pas pu mettre un point final à la publication exposant les recherches sur la genèse de la logique des significations. Comme Inhelder et Garcia nous l'apprennent dans une note du chapitre concluant la première partie, sa rédaction était provisoire. De plus, Inhelder précise dans la préface que, selon le plan prévu, Piaget aurait dû intégrer à ses conclusions les considérations logiques rédigées par Garcia et reproduites en deuxième partie de l'ouvrage. Une conclusion générale écrite par celui-ci comble cependant, au moins en partie, cette lacune.

Le titre choisi par Garcia et Inhelder pour cette publication, *Vers une logique des significations*, exprime très clairement le caractère inachevé de cet important travail de rénovation de l'ancienne conception et de l'ancienne modélisation de la logique de l'enfant qui avaient été développées entre 1937 et 1954. L'un des buts principaux que Piaget s'était donné dans ses dernières années de recherche était en effet de compléter la logique opératoire dans le sens d'une logique des significations. Hélas ce travail de révision n'a pas pu être conduit à son terme. Mais si nous n'avons toujours pas aujourd'hui de modélisation des activités logiques de l'enfant et de l'adolescent intégrant explicitement le traitement des significations, il n'en reste pas moins que ce nouvel ouvrage esquisse des pistes pour des recherches à venir.

L'examen qui suit portera essentiellement sur la première partie de l'ouvrage, rédigée par Piaget. Nous rapporterons toutefois brièvement les conclusions générales, écrites par Garcia, et qui sont probablement nourries des discussions que les deux auteurs, auxquels se joignait Inhelder, ont eues ensemble au cours de l'année 1978-1979.

Introduction

Si le but principal des recherches de l'année 1978-1979 est « de compléter et de corriger [la] logique opératoire dans le sens d'une logique des significations » (p. 11), Piaget précise immédiatement que la logique opératoire est déjà « en bonne partie » une logique des significations, mais alors « au sens extensionnel du terme ». Lorsque, dans le passé, les enfants étaient interrogés sur les rapports entre les quantités de marguerites et de fleurs, il est évident qu'aussi bien les opérations d'addition que les



quantités en jeu faisaient sens pour eux. De même dans les anciennes recherches sur la logique hypothético-déductive de l'adolescent, lorsque Inhelder et ses collaborateurs interrogeaient les sujets sur des questions telles que celle de savoir quel est le facteur expliquant la plus ou moins grande flexibilité de tiges variées, et que ceux-ci argumentaient de manière à démontrer que l'explication résidait dans la nature des substances avec lesquelles elles étaient fabriquées, il est évident que leur objet de pensée faisait constamment sens pour eux.

Cependant, ce qui était au cœur de l'interrogation de Piaget dans les années 40 et 50 était la forme des compositions d'opérations que des sujets d'âges variés pouvaient réaliser en répondant aux questions de l'expérimentateur psychologue ou en résolvant les problèmes que celui-ci leur posait. Dans la mesure où ce qui est centré devient autant un problème de fonctionnement de la pensée que de structure, il est évident que les significations attribuées par le sujet aux réalités traitées ainsi qu'aux actions et opérations alors utilisées jouent un rôle essentiel. Il ne s'agit dès lors plus seulement de savoir comment le sujet opère sur des quantités, mais, par exemple, ce que signifient pour lui ces notions de fleurs et de marguerites sur lesquelles on l'interroge, et quel est le rapport qu'il conçoit entre les significations en jeu. De même, en ce qui concerne la logique hypothético-déductive, il ne s'agit plus seulement d'étudier dans quelle mesure il compose des opérations de conjonctions, de disjonctions, d'implications, etc., ou encore d'examiner comment il traite la question, importante pour cette logique, des rapports du vrai et du faux entre propositions, mais aussi « de préciser en un sens intensif (en 'compréhension') l'emploi des facteurs logiques 'et' et 'ou' et surtout celui des implications 'signifiantes' par opposition à 'matérielles' » (p. 12)¹³².

En d'autres termes, lorsque, pour reprendre un exemple de logique concrète, le sujet est confronté à des objets ronds et rouges, carrés et bleus, etc., et qu'on lui demande de les classer, on peut certes s'interroger sur ses capacités à additionner tel sous-ensemble d'objets avec tel autre pour construire des classes et des sous-classes ; mais on peut aussi s'interroger sur ce que signifie pour lui la conjonction des prédicats « rond » et « rouge », ou, autre exemple, l'implication « tel objet est une fleur, si cet objet est une rose ».

Piaget définit dès l'introduction la notion d'implication signifiante, qui est au cœur de sa conception de l'activité intellectuelle : p implique q , ou $p \rightarrow q$, « si une signification s de q est englobée dans celle de p et si cette signification commune s est transitive » (p. 12). S'il est possible, quoiqu'un peu artificiel, au niveau de la pensée formelle ou hypothético-déductive, de détacher le « calcul de la vérité et de la fausseté des propositions » de la signification exprimée par ces propositions pour s'en tenir à la seule signification d'être vraie ou fausse, cela n'est pas le cas pour tout le traite-

¹³² L'implication matérielle est cette forme d'implication – jamais utilisée par la pensée, sauf dans les examens de logique – qui ne tient pas du tout compte de la signification des propositions mises en rapport, mais uniquement des caractères de vérité ou de fausseté de celles-ci, et qui permet donc de tenir pour vraie l'affirmation : la proposition « les éléphants sont roses » implique la proposition « $2 + 2 = 4$ », s'il est vrai que la première est fausse.



ment des significations attachées par le sujet à ses actions, aux objets, aux situations, ainsi qu'aux significations attachées aux énoncés en tant que portant sur des réalités concrètes. En ces cas, qui forment la quasi-totalité du fonctionnement de la pensée logique et plus généralement du traitement des significations, « les englobements de significations en compréhension, que nous nommerons ' inhérences ', correspondent à des emboîtements en extension, donc à des sortes de tables de vérité, mais partielles et déterminées par les significations, avec relativisation des négations par rapport aux référentiels que constituent ces emboîtements » (p. 12-13 ; les non-marguerites ne sont pas n'importe quoi pour un enfant en train de classer des fleurs, mais les fleurs qui ne sont pas des marguerites).

Si le but de Piaget était, avec l'aide de Garcia, de réviser la logique opératoire en y intégrant explicitement la question du traitement des significations, pour y parvenir c'est encore à la méthode psychogénétique qu'il recourt. Pour dégager ce que signifie du point de vue « intensionnel » et pas seulement extensionnel les négations, les conjonctions, les implications, etc., les auteurs et leurs collaborateurs vont à nouveau se pencher sur l'étude de ces opérateurs tels qu'ils interviennent à différents niveaux du développement cognitif, y compris sur le palier sensori-moteur. Piaget rappelle que, dès son ouvrage sur La naissance de l'intelligence chez l'enfant, il était question d'implications significatives entre actions. Mais il n'avait jusqu'alors jamais cherché à préciser la nature de ces implications, ainsi que leur lien de filiation avec la logique des significations, telle qu'elle intervient sur le plan de la pensée « concrète » puis « formelle » (ou sur le plan de la pensée « inter-opératoire » puis « trans-opératoire », pour reprendre un langage plus technique, mais peut-être plus précis que Garcia et Piaget ont mis en place à la fin des années 70) ¹³³. Il mentionne aussi les nouvelles recherches réalisées par Sinclair, Stambak et leurs collaboratrices sur un certain nombre de conduites logico-mathématiques présentes chez les bébés (par exemple les actions de remplir ou de vider des récipients, de partitionner ou de coller des boules de plasticine, etc.). Ces nouvelles recherches prouvent une nouvelle fois combien l'organisation logico-mathématique qui se développe entre 0 et 2 ans offre des parentés de structure avec les organisations ultérieurement construites sur le plan de la pensée. Mais elles montrent aussi comment de premières implications apparaissent dès que les enfants mettent en rapport des actions telles que remplir et vider un récipient. Ces mises en rapport précoces démontrent que, pour les bébés qui les réalisent, « l'action x implique la possibilité d'être inversée » (p. 14). De plus, on trouve de « premières implications entre significations » (id.) dès les coordinations de schèmes telles que celles qui relient la vision et la préhension (le sujet qui déplace

¹³³ L'infra-opératoire caractérise les préopérations non encore regroupées en structure. L'inter-opératoire correspond à l'étape du regroupement des préopérations en structures, ce qui signifie que les opérations résultantes sont reliées selon des lois de compositions. Enfin, le trans-opératoire caractérise l'ancien niveau dit formel, lors duquel le sujet parvient à composer ensemble des opérations inter-opératoires (à opérer sur des opérations), qui peuvent ou non appartenir à un même regroupement (par exemple, les opérations de combinaisons, qui sont des sériations d'opérations de sériations, ou le groupe INRC, qui, entre autres, compose des opérations d'inversions par négation avec des opérations d'inversions par réciprocity).

sa main en fonction des indications fournies par la vision, ou qui déplace son regard



pour le centrer sur ce que tient sa main). Ensuite viennent les implications entre actions, qui « donnent naissance à des structures stables », comme celles que l'on voit à l'œuvre dans les conduites relatives à la permanence de l'objet (le bébé sait alors composer ses actions pour retrouver des objets en tenant compte de la suite de leurs déplacements visibles et invisibles).

Sur ce dernier point, il faut souligner le rôle alors attribué aux implications entre actions dans la formation des premières structures d'actions. Ce sont ces implications qui, en effet, expliquent le caractère de nécessité et de fermeture relatives que peuvent déjà prendre aux yeux du sujet les compositions d'actions sur le terrain de l'intelligence sensori-motrice (mais sans encore atteindre cette libération par rapport à l'espace proche que permettront l'acquisition et l'utilisation opératoires des représentations imagées et verbales).

En ce qui concerne enfin le traitement logique des significations qui intervient sur le plan de la pensée (représentative), Piaget annonce dès cette introduction un résultat particulièrement important. Toutes les seize opérations de la logique des propositions mises en évidence dans les anciennes études psychogénétiques sur la pensée de l'adolescent sont présentes, mais isolées les unes des autres, aux niveaux précédents de développement de la pensée, et même déjà sur le plan des coordinations d'actions. Remarquons toutefois que, sous cette forme primitive, elles n'auront pas la signification qui résulte du regroupement des préopérations en opérations concrètes, puis du regroupement de celles-ci en des structures de niveau supérieur qui englobent les précédentes. Plus précisément, « ce que l'on observe aux niveaux précoces est simplement les seize combinaisons possibles entre les couples d'actions, mais sans systèmes d'ensemble, chaque combinaison s'effectuant en fonction de contextes variables [qui leur font prendre diverses significations de telle sorte que] ces seize combinaisons ne constituent alors que seize casiers pouvant contenir bien plus que seize opérations, en fonction des conjonctions, disjonctions, incompatibilités, implications mutuelles, etc., que les sujets élaborent au gré des situations » (p. 16). Ce sont les significations variées de ces connecteurs logiques, ainsi que leurs filiations, qui seront principalement considérées dans les chapitres exposant les recherches expérimentales, une attention étant toutefois également accordée à la « signification des significations » (id.), en d'autres termes à l'examen de ce que sont ces significations que le sujet relie par le moyen de différents opérateurs logiques. Cette double attention portée aux significations variées des connecteurs logiques et aux significations qu'ils relient devrait apparaître dès le premier chapitre, qui porte en partie sur les conduites instrumentales chez le bébé.

Chapitre I : Significations et implications au sein des conduites instru-



mentales (avec D. Crapon de Caprona et A. Ritter)

a. Le problème

Les sujets (des enfants de 1 à 5 ans) doivent s'emparer d'animaux en peluche au moyen d'un certain nombre d'instruments mis à leur disposition. Ces animaux (un chat, un singe un chien) sont plus ou moins facilement atteignables¹³⁴.

b. Les résultats

A un premier niveau (enfants ayant entre 1 année et 2 ans), les sujets ne parviennent pas à rassembler les instruments mis à leur disposition pour atteindre les animaux. On les voit néanmoins utiliser les instruments dans le but de découvrir leur « signification générale » (p. 24) ou « ce qu'on peut en faire » (un râteau est ainsi saisi par le manche, par les dents, mis debout sur les dents, etc.). On a ici affaire aux activités exploratrices telles que Piaget les avait décrites dans *La naissance de l'intelligence*. Par ailleurs, on voit effectivement ces bébés tenter d'établir des relations entre les instruments et les objets (ils rapprochent les premiers des derniers, tapent avec l'un d'entre eux sur la table, comme si cela avait le pouvoir de mettre à portée de main l'animal alors considéré, etc.). En ce cas, c'est la « signification locale » des instruments qui est explorée. Qu'en est-il alors à ce niveau des implications entre significations ou actions ? Elles se manifestent à travers les tentatives faites par les sujets pour se saisir des objets. Toucher un objet avec un instrument implique de rapprocher celui-ci du premier ; de même, taper vers un objet implique (à tort ou à raison) faire bouger celui-ci, etc.

Vers 2 et 3 ans, les enfants parviennent en tâtonnant à attirer l'un ou l'autre des animaux vers eux, notamment en utilisant le râteau. Mais il faut attendre 3 ans pour qu'ils parviennent à résoudre d'emblée le problème le plus simple : attirer le chat vers eux au moyen du râteau, sans réussir les problèmes plus compliqués (par exemple, celui de prendre un singe). Enfin le dernier niveau (vers 3-4 ans) se caractérise par la capacité qu'ont les sujets de coordonner les trois schèmes de pousser, de déplacer de côté et d'attirer vers eux le chien (qui sinon reste derrière un obstacle). Piaget observe qu'à ce troisième niveau, les parties des objets et des instruments prennent des significations spéciales, en rapport avec les actions qui s'y appliquent (par exemple l'action d'accrocher, pour la partie d'un bâton pouvant effectivement servir à cette fin).

En ce qui concerne les implications entre actions, qui se distinguent de leur causalité, l'auteur justifie leur présence dès le niveau sensori-moteur par le fait que les bébés peuvent anticiper le résultat de leur action avant même son accomplissement. « Or,

¹³⁴ Cette recherche est la seule dans laquelle sont étudiées des conduites d'enfants âgés de moins de 3 ans. Il est dommage que Piaget n'ait pas reconsidéré ici certaines observations longuement décrites dans ses ouvrages sur la naissance de l'intelligence et la construction du réel chez ses enfants. En particulier le « protogroupement des déplacements » qui permet aux bébés de découvrir des objets cachés ou de se déplacer correctement dans des endroits connus dans lesquels peuvent se trouver des obstacles variés (par exemple, le contournement d'un meuble pour se saisir d'une balle disparue sous lui) aurait permis de préciser comment à ce stade les implications entre actions se rattachent ou s'enchaînent les unes aux autres.



anticiper consiste à déduire et toute déduction ou inférence est une suite ou un système d'implications » (p. 28). On pourrait se demander ici si le terme de déduction n'est pas trop fort, et s'il n'aurait pas été théoriquement plus prudent de s'en tenir à la notion d'inférence. Quoi qu'il en soit, cette assimilation de la notion d'anticipation à celle d'inférence permet effectivement de rapprocher Piaget de l'école cognitive américaine (Chomsky, Fodor, Pylyshyn, etc.), qui conçoit la présence d'une logique des propositions sous-jacentes aux activités comportementales animales. La seule différence, mais elle est fondamentale, est que les tenants du cognitivisme tendent à identifier cette sorte de logique à celle caractérisant la logique discursive, alors que pour l'école genevoise celle-ci n'apparaît à proprement parler qu'avec la pensée (représentative) et, sous sa forme complète, qu'avec la pensée hypothético-déductive, vers 12-13 ans.

Enfin, Piaget observe que l'anticipation déductive caractéristique de la coordination entre les actions de pousser, de déplacer de côté et de tirer vers soi, etc., et qui est propre au troisième niveau, est de type supérieur. Elle consiste en effet « à construire un schème d'ensemble composé de schèmes partiels reliés en une totalité coordinatrice, dont la nature inférentielle est indéniable en tant qu'implication entre implications » (p. 28).

Chapitre II : Les déplacements au sein d'une structure d'arbre (avec C. Monnier et C. Vachta)

a. Le problème

Soit un ensemble de huit chemins, formant un arbre binaire, partant d'un premier tronçon commun (le tronc) et aboutissant à huit garages où pourra arriver un véhicule empruntant l'un des huit parcours. Les divers tronçons des chemins peuvent être cachés par des tunnels. La voiture étant placée à un certain endroit de l'arbre (par exemple l'un des garages), le sujet doit dire par où elle est passée, ou jusqu'où elle pourra aller, étant donné sa position actuelle (la voiture laisse une trace cachée ou non de son passage, en l'occurrence un ruban déroulé derrière elle).

b. Les résultats

Si à un niveau IA il y a absence de mises en relation entre les chemins, de premières liaisons partielles apparaissent avec le niveau IB. Vers 7-8 ans (niveau II), le sujet peut regrouper opératoirement les huit chemins, au moyen des emboîtements successifs de tronçons qui les caractérisent. A un troisième niveau (vers 11 ans), le sujet peut dire, entre autres choses, le nombre de tunnels qu'il faut ouvrir pour connaître avec certitude dans quel garage la voiture se trouve à la fin (trois constats suffisent). La raison de ce décalage tient dans le fait que, dans le deuxième cas, le sujet doit tenir



compte de la suite des alternatives possibles, c'est-à-dire « remplacer les conjonctions ‘ et ’ par les disjonctions successives ‘ ou ’ » (p. 39).

Cette expérience est l'une de celles où les coordinations des « et » et des « ou » construisent en action des équivalents de l'un ou l'autre des seize opérateurs de la logique des compositions de deux propositions. Retenons deux exemples. Le premier est celui des simples conjonctions, lorsque le sujet se borne à construire la suite d'un chemin qui va du tronc initial de l'arbre jusqu'à une feuille de celui-ci, soit un garage. Le second est lié à la question du nombre minimal de constats à faire pour savoir où se trouve un véhicule : le sujet qui réussit à résoudre ce problème considère les huit points d'arrivée possibles et comprend qu'ils sont chacun le résultat de la succession de trois disjonctions exclusives possibles (la voiture peut passer, au troisième niveau, par ici ou bien par là, au deuxième niveau, par ici ou bien par là, et au premier niveau, par ici ou bien par là).

Bien que contenant très peu de détails en ce sens, l'exposé des résultats de cette recherche permet de mieux cerner la tâche inachevée que Piaget s'est donnée dans cet ouvrage : étudier le passage progressif de conjonctions, de disjonctions exclusives ou non, et d'implications, toutes de portée encore limitée et liant entre elles des significations attribuées à des aspects sans cesse changeants d'une situation particulière, vers ces mêmes connecteurs, mais alors regroupés ensemble de telle manière que les réponses des enfants manifestent les propriétés de composition des seize opérations logiques propres à l'étape « transopérateur » du développement cognitif.

Chapitre III : Le carrelage (avec B. Vitale et M. Zinder)

a. Problème

Le sujet doit couvrir le sol avec un carrelage. Il dispose pour cela d'un certain nombre de surfaces ayant des formes géométriques et des couleurs variées. Il est en outre interrogé sur les solutions qu'il propose.

b. Conclusion

La conclusion principale tirée des solutions des enfants est la présence de trois niveaux d'inférences : 1. anticipations limitées à ce que permettent les répétitions déjà constatées d'arrangements, 2. anticipations dépassant le constatable et mettant en œuvre des implications nécessaires, et 3. inférences fondées sur leurs raisons ou sur des démonstrations possibles.

Il distingue aussi trois formes d'implications : 1. conditionnante, qui apparaît dès le niveau I : le sujet reconnaît les conditions nécessaires et suffisantes d'une réussite, 2. amplifiante, qui porte sur les conséquences de ce qui a été commencé (ainsi un sujet qui a réussi à couvrir une partie du sol affirmera-t-il : « si je réussis à agrandir ce qui est trouvé, il n'y a pas de raison de ne pas toujours continuer », p. 52), et enfin



3. justificatrice, qui produit par exemple les raisons d'une itération indéfinie d'une action qui réussira dans le futur comme elle l'a fait dans le passé.

En plus de ces implications interviennent aussi des « implications supposées ou faibles » (p. 53), dans les cas où les informations connues ne permettent pas de conclure avec certitude, mais où il y a des raisons de croire vraie telle ou telle réponse. Ainsi, lorsque des constructions réussissent avec une forme, et que d'autres échouent avec une autre forme, la question peut se poser de savoir ce qui se passera en cas de mélange des formes. Au niveau I le problème ne se pose pas (les sujets tendent à ne construire que des carrelages homogènes). Au niveau II, les réponses des sujets sont les unes vraies, les autres fausses. Au niveau III enfin, le sujet chercherait à déduire la validité de sa réponse.

Enfin, la dernière partie des conclusions contient à nouveau une rapide description des précurseurs des seize opérations interpropositionnelles que Piaget pense trouver parmi les liaisons logiques introduites par les sujets entre les éléments de construction du carrelage. Mentionnons à titre d'exemple celui des « conjonctions obligées » : un sujet ayant choisi et réussi avec des pentagones et des triangles affirmera que, s'il a réussi en utilisant les pentagones, c'est « qu'en tout cas on a pris (en plus) des triangles » (p. 55).

Chapitre IV : Implications et significations arithmétiques (avec I. Berthoud et H. Kilcher)

Cette expérience pose le problème des rapports entre les implications entre énoncés et les implications entre actions ou opérations. Les implications entre énoncés sont-elles indépendantes des secondes, ou au contraire se bornent-elles « à décrire ou formuler verbalement un ensemble d'opérations dont les implications constituent [leur] source véritable et indispensable » (p. 57) ? La recherche met en œuvre deux situations.

a. Section I : Nombres ordinaux et cardinaux

Le problème

Les expérimentateurs demandent des anticipations verbales concernant ce qui va se passer lorsqu'on déplace une à une des billes d'une boîte H dans une autre B (H pour « placée en haut » et B pour « placée en bas », les deux boîtes étant reliées par un tube dans lequel le sujet lancera les billes). Mentionnons à titre d'exemple une question posée aux enfants : « Avant que la cinquième bille tombe, combien y aura-t-il en B et en H ? » (pp. 58-59).



Les résultats

A un premier niveau IA, et bien que les enfants sachent compter au moins jusqu'à quinze, ils ont la plus grande peine à répondre à la question, c'est-à-dire à pouvoir considérer le rapport entre les deux sous-collections de la totalité d'éléments en jeu (c'est-à-dire à considérer le nombre de billes en B et en H). Bien que par son action, le sujet divise dans les faits la collection en deux, il continue à la considérer comme un tout.

Au niveau IB (vers 5-6 ans), les enfants établissent de premiers rapports quantitatifs. Mais ils emploient pour cela des procédés qui montrent le caractère encore préopératoire de leur conception du nombre. Par exemple, ayant compté n éléments dans l'une des deux sous-collections, tel enfant continuera à compter à partir de n pour obtenir le nombre d'éléments dans la deuxième sous-collection.

Au niveau II, les sujets réussissent généralement à résoudre les problèmes qu'on leur propose, avec parfois quelques erreurs de calculs. Ils distinguent donc bien la complémentarité des deux sous-collections par rapport à l'ensemble. Au niveau III, ils donnent des explications complètes, évoquant les opérations d'addition et de soustraction.

Conclusion

Il est question dans ces conclusions d'implications entre les significations liées à l'aspect cardinal du nombre et celles liées à l'aspect ordinal (inférences sur les cardinaux à partir des ordinaux ou l'inverse). Ces implications et inférences ne se construisent que progressivement.

Par ailleurs, le fait que leurs progressions soient liées à la capacité de concevoir les opérations en jeu permet de conclure que les calculs auxquels le sujet fait référence dans ses explications « constituent des implications entre actions ou opérations, même si le sujet les exprime sous la forme d'énoncés » (pp. 68-69).

b. Section II : Le dénombrement en ordre circulaire

Les questions posées à l'enfant portent sur le nombre de boutons dans un collier circulaire qui en comporte dix ou onze, puis sur le nombre de deuxièmes, de troisièmes et de derniers au sein du même collier.

Les résultats montrent qu'il y a différenciation et implication mutuelle entre ordination et cardination dès le deuxième niveau. Le progrès des significations se marque en outre par « une relativisation fondamentale des notions utilisées » (p. 71).



Chapitre V : Les liaisons intraobjectales (avec R. Zobel et G. Merzagli)

a. Problème et résultats

Sur les deux côtés d'une surface rectangulaire sont dessinés deux dessins (par exemple une pomme d'un côté et un chapeau de l'autre). Cette surface est découpée en morceaux présentés en vrac sur une table, les parties des deux dessins apparaissant alors de façon mélangée. Le sujet doit dire ce qui est représenté par ces cartons mélangés.

Au niveau IA, les enfants ne relient pas analytiquement les morceaux les uns aux autres. La signification de l'objet change en cours de route en fonction de ce que suggèrent les parties rassemblées de manière hétéroclite et sans intention de vérification.

Dès le niveau IB, vers 4 ans, le sujet cherche à joindre de nouveaux éléments en tenant compte de la signification des anciens. Il s'agit d'obtenir un objet caractérisé par des « liaisons intraobjectales » (p. 76). On a alors affaire à des « conjonctions obligées » (n'importe quoi ne va pas avec n'importe quoi). Il faut trouver les « bonnes parties » (p. 78), ce qui implique l'exclusion de celles qui ne vont pas (pour un certain morceau). Mais à ce niveau, le sujet n'arrive pas encore à concevoir qu'il y a deux dessins. Il croit alors que certaines parties d'un objet manquent, ou bien qu'une moitié du dessin est représentée sur l'autre côté du carton. « Il y a donc un problème de signification » (p. 81).

Au niveau II par contre, le sujet comprend qu'il y a deux images, l'une sur une surface du carton, l'autre sur l'autre surface. Par ailleurs, les anticipations par lesquelles il recherche certaines parties, ou encore les exclusions par lesquelles certaines formes sont rejetées, se déroulent beaucoup plus rapidement.

b. Conclusions

En parfait accord avec la conception exposée dans l'ancien essai de logique opératoire de 1950, Piaget commence par observer qu'une logique des significations « ne saurait se limiter à celle des énoncés en tant que vrais ou faux et doit essentiellement porter sur leurs contenus, donc sur les objets eux-mêmes » (p. 82). La signification des objets comporte deux aspects, l'un lié à ce que l'on peut en faire (découper un objet, le porter à sa bouche, etc.), l'autre à ce dont ils sont faits, ce que le sujet découvre à l'aide également d'actions, « mais constructives et non plus simplement utilisatrices » (id.). Ici, cette découverte se fait au moyen d'assemblages de morceaux, qui comportent des implications entre actions, des « conjonctions obligées », mais aussi des exclusions. Pourtant, on trouve aussi dans les réponses des enfants des « conjonctions libres », lorsqu'ils relient entre elles des parties « qui ne sont pas toujours réunies dans la réalité » (par exemple un éléphant dans un boa). Un troisième type de conjonction est qualifiée d'« interobjectale » ou « inclusive », en tant que sont réunis « en une collection unique des objets diversement découpés mais de mêmes significations » (p. 83), par exemple quatre pommes que les sujets du niveau II croient reconnaître dans les morceaux présentés.



Piaget distingue aussi quatre types d'incompatibilité parmi les réponses des enfants. Un premier type est l'incompatibilité « intraobjectale » : un morceau de pomme, qui peut être réuni avec d'autres pour construire une pomme, est incompatible avec les morceaux d'une seconde pomme. Un deuxième type est l'incompatibilité « interobjectale », l'impossibilité de réunir un morceau faisant partie d'une pomme avec les morceaux d'un autre objet (par exemple un chapeau). Un troisième type est l'incompatibilité « totale » : les morceaux choisis ne peuvent former aucune totalité (transcrit en logique des propositions, on a alors : non-p ou non-q, mais jamais p et q). Enfin, le dernier type est une « incompatibilité présentatrice » : les deux objets dessinés sur chacun des côtés d'un même carton « peuvent être construits ensemble mais ne peuvent être présentés ensemble » (p. 84).

Parmi les liaisons logiques présentent dans les réponses des enfants, l'exclusion réciproque (le « jamais p et q ensemble » dont il a été question ci-dessus, dans la mesure où elle est liée à l'incompatibilité) permet à Piaget de souligner une nouvelle fois que, dans la logique des significations, « la négation n'intervient qu'en se référant à un emboîtement bien défini » (p. 84). Dans notre exemple des fleurs, ne pas être une marguerite signifie être une fleur autre qu'une marguerite (et non pas n'importe quoi d'autre qu'une marguerite). C'est pourquoi l'auteur relativise la notion de négation en distinguant les « négations proximales » et les « négations distales » (avec des frontières de plus en plus éloignées). La présente recherche montre que les négations deviennent de plus en plus distales lors du passage d'un niveau de réponses au suivant. Dès le niveau II, le sujet tient compte en effet des trois possibilités pour un morceau d'être partie du dessin d'un éléphant, d'une pomme ou d'un chapeau, alors que précédemment il ne considère qu'un référentiel à la fois.

Enfin, il conviendrait de distinguer encore parmi les conduites des sujets des réponses mettant en jeu des équivalences, et d'autres des disjonctions non exclusives. En tout c'est donc au moins une dizaine des seize liaisons « isomorphes aux futures opérations binaires » de la logique des propositions que l'on trouverait dans cette expérience (p. 86). « Or les dix utilisées sont toutes des liaisons entre significations sans recours à la table de vérité fondée sur l'extensionnalité, celle-ci n'intervenant que dans les emboîtements partiels commandés par les significations et leurs ' inhérences ' » (id. ; rappelons que les tables de vérité permettent de calculer la vérité d'une proposition complexe à partir de la valeur de vérité des propositions qui la composent, et cela sans connaître la signification de ces propositions).



Chapitre VI : La négation et l'incompatibilité interobjectales (avec L. Banks et A. Wells)

Cette recherche comporte deux parties, l'une portant sur la négation et l'autre sur l'incompatibilité.

a. Première section : La négation

Le problème

Il ne s'agit plus ici d'objets et de morceaux qui les composent, mais de classes d'objets. L'expérience se déroule selon le principe d'un jeu bien connu : face à une collection réunissant des objets de toute espèce, et en réponse à des questions de l'expérimentateur, le sujet doit dire ce qu'un objet n'est pas, de telle manière que l'adulte puisse progressivement découvrir ce qu'est cet objet. Dans un second temps, le jeu est inversé et c'est l'enfant qui doit poser des questions de manière à récolter les informations lui permettant de déduire ce qu'est l'objet.

Les résultats

Au niveau I, il n'y a pas de référentiel stable et l'enfant ne sait pas trouver ce que l'objet n'est pas. Par ailleurs, il conçoit la signification des objets au moyen, non pas de conjonctions obligées, ni de conjonctions libres, mais de « conjonctions pseudo-obligées » qui sont un mélange des deux premières : il réunit ensemble des objets pour des critères qui ne doivent rien à leur qualité interne (par exemple, parce qu'ils sont près les uns des autres) et considère pourtant que cela forme une conjonction obligée d'objets. Comme il n'y a pas de référentiel stable, les négations et les exclusions n'ont pas de signification générale. Pour qu'il y ait négation, il faudrait que le sujet puisse nier la possibilité d'une conjonction. Or ce n'est pas le cas, et le sujet comprend un énoncé comme « x n'est pas bleu » comme signifiant qu'il pourrait l'être.

Au niveau II par contre, « les emboîtements deviennent cohérents, fournissant ainsi des référentiels aux négations qui s'étendent rapidement aux distales » (p. 93, les négations se font par rapport à des frontières de plus en plus éloignées relativement à la classe emboîtant la plus proche).

b. L'incompatibilité

Le problème

Le matériel est composé de deux jeux de cartes, l'un contenant des images d'animaux, l'autre des images de végétaux. L'expérimentateur demande au sujet de ranger comme il le veut les cartes du premier jeu. Après qu'il l'a fait, l'expérimentateur classe les végétaux en respectant le principe d'incompatibilité (fruits, fleurs et végétaux restants). Le sujet doit décrire les trois tas de végétaux, puis effectuer une



classification similaire à celle de l'adulte, mais portant sur le jeu de cartes avec les animaux.

Les résultats

Au niveau I (4-6 ans), les sujets construisent des tas hétérogènes (chaque tas peut contenir la carte d'un chien par exemple), même après avoir vu la classification des végétaux. Ils n'utilisent ni les exclusions, ni les conjonctions obligées, ni les conjonctions libres (construction du reste). On retrouve dans leurs solutions les conjonctions pseudo-obligées de la recherche précédente.

Au niveau IIA (6-9 ans), les sujets savent construire des emboîtements opératoires. Ils savent en action construire une classe C composée des animaux qui ne sont ni des animaux à deux pattes (oiseaux) ni des animaux à quatre pattes. Mais ils ne parviennent pas à qualifier cette troisième classe. Ils recherchent par exemple un caractère commun aux C, qui pourraient justifier leur regroupement de la même façon que le nombre de pattes permet de regrouper les animaux de A et ceux de B. Ce n'est qu'au niveau IIB (8-10 ans) qu'ils parviennent à qualifier les C par le fait qu'ils sont tous « ni des A ni des B ».

Chapitre VII : Le cannage (avec G. Piéraud-Le Bonnicie et E. Rappe du Cher)

a. Le problème

Différentes alternances de couleurs sont construites avec des rubans de différentes couleurs (la situation est trop compliquée pour pouvoir être décrite en quelques lignes, même de manière grossière ; heureusement une telle description n'est pas nécessaire pour comprendre la suite).

b. Résultats et conclusions

Un premier niveau est caractérisé par une suite d'actions qui ne s'appuient sur aucune règle. Le sujet peut toutefois introduire après coup certaines régularités dans les formes obtenues (par exemple en affirmant « on fait en dessous et après en dessus », p. 104).

Au niveau II, vers 7-8 ans, on voit au contraire à l'œuvre des implications entre actions, « donc entre significations conscientes » (p. 105) basées sur des règles et reconnaissant ainsi un certain nombre de contraintes. Alors qu'au niveau I l'action est toute basée sur un effort de copie empirique, comportant de nombreuses erreurs, et que le niveau II se caractérise par la découverte des régularités, le niveau III est celui de la « compréhension endogène de la 'raison' des lois et faits généraux observés » (p. 107). Le sujet peut non seulement « déduire les relations en jeu, mais encore



en justifier le caractère nécessaire, ce qui constitue une recherche et un établissement des raisons » (p. 108).

Ce bref résumé des résultats confirme le lien étroit entre cette étude sur la logique des significations et les recherches précédentes sur les correspondances ou encore sur l'évolution du nécessaire. Dans les conclusions de ce chapitre, on trouvera même une remarque selon laquelle la progression des conduites révélerait « un passage progressif des coordinations d'actions aux compositions inférentielles au sein desquelles ce sont des abstractions réfléchissantes qui dirigent les manipulations » (p. 110).

Quant au thème de la logique des significations, les résultats exposés dans ce chapitre permettent de distinguer des implications « locales » entre actions (liées à des alternances ou à des inversions locales de couleurs, mais sans possibilité d'intégrer les différentes régularités) et des implications « systémiques », qui commencent au niveau II et « qui consistent à relier les relations locales en un tout cohérent jusqu'à en fournir les raisons » (p. 110). Par ailleurs, la suite des alternances « caractérise des conjonctions obligées » (p. 111), et les actions des sujets révèlent aussi la présence de « conjonctions libres ». On trouve aussi des « inversions » qui constituent des « négations », des disjonctions exclusives qui interviennent dans le choix des couleurs, des disjonctions non exclusives, des incompatibilités ou impossibilités, etc.

Chapitre VIII : Significations d'assemblages (avec A. Henriques, D. Maurice et V. Vacq)

Ce chapitre expose brièvement les résultats de quatre situations qui portent toutes sur des transformations d'assemblages liées à des structures de sériations ou de classifications. Tous les interrogatoires commencent par une situation dans laquelle l'expérimentateur demande au sujet de ranger comme il veut des objets hétérogènes qu'on lui présente.

a. Section I : Les modifications d'une sériation (avec V. Jacq)

Le problème

Le sujet doit désigner l'élément moyen d'une sériation de neuf clous disposés verticalement. Puis l'expérimentateur lui demande comment faire pour que cet élément moyen devienne le plus grand ou le plus petit.

Les résultats

Au niveau I, les enfants ne comprennent pas qu'il suffit d'enlever les clous plus grands (ou plus petits) que le moyen pour que celui-ci devienne le plus grand ou le plus petit des clous. L'une des conduites fréquemment observées est le simple déplacement du clou moyen au sommet ou à la base de la série, ce qui, selon ceux qui la



manifestent, suffirait à faire du clou en question le plus grand ou le plus petit. Piaget donne le nom de « prédicats couplés » à cette manière de faire, dans la mesure où il semble que pour ces enfants « c'est comme si c'était la place occupée qui déterminait la grandeur et non pas l'inverse » (p. 115). Au lieu d'une composition opératoire des relations, il y a amalgame entre ce qui ne sont alors encore que des « semi-relations ».

Les sujets du niveau II trouvent par contre sans difficulté la solution. Les termes (et prédicats) de « grand » et « petit » sont alors relativisés, « grand » signifiant « plus grand que » et « petit », « plus petit que ».

b. Section II : Significations d'assemblages et de leurs raisons internes (avec A. Henriques et D. Maurice)

Le problème

On fait classer aux enfants un certain nombre d'objets, mais en présentant successivement ceux-ci et en examinant comment le sujet parvient à modifier en conséquence sa classification.

Les résultats

Au niveau I, les prédicats utilisés pour décrire les objets restent toujours absolus (donc il n'y a pas d'inclusion des objets dans des classes englobantes). Un sujet se contentera par exemple de dresser la liste des objets variés qu'on lui a présentés (et qui sont visibles dans une boîte), alors que l'expérimentateur lui demande s'il peut utiliser un seul nom pour les décrire. Et s'il accepte cette dernière consigne, il choisira un nom valable pour un seul des objets (un « arbre » par exemple), tous les autres étant alors jugés lui ressembler.

Au niveau II (6-7 ans environ), il y a un début de formation de petites classes disjointes avec mises en relation des prédicats.

c. Section III : Transformation de structures (avec A. Henriques et D. Maurice) et conclusions générales

Le problème

L'expérimentateur présente à l'enfant soit une structure de type sériation, soit une structure de classification, réalisées avec certains objets. Il lui demande alors de faire la même chose, mais avec des objets différents.



Les résultats

Parmi les résultats constatés, mentionnons ceux repris en conclusion. Il y a d'abord le fait que chez les enfants les plus jeunes, une plus grande ressemblance entre objets n'équivaut pas à une plus petite différence (et vice versa). De plus les rapports de ressemblance sont souvent reliés à la proximité spatiale des objets, et ceux de différence au fait pour ces objets d'être séparés.

De manière générale, dans les différentes expériences on trouve chaque fois le passage des « prédicats couplés », avec absence de classe englobante, à des emboîtements « de plus en plus larges et mieux hiérarchisés » (p. 132).

Les progrès se font grâce à des implications entre actions remplaçant peu à peu les « prédicats couplés » initiaux. Piaget illustre ce point en rappelant comment la construction d'une classe se fait non seulement grâce à des réunions, mais aussi grâce à des exclusions (la construction des A implique le rejet des non-A).

Chapitre IX : Classifications et symétries (avec S. Dionnet, J. Guyon et A. Sinclair)

Cette recherche est proche de la précédente, mais elle permet tout particulièrement d'examiner comment le sujet fait intervenir des symétries dans ses classifications.

Le problème

Le matériel est composé de morceaux de carton coupés en carré. Les pièces ne se distinguent que par leur grandeur (des grands et des petits) et par leur couleur (des bleus ou des roses). L'expérimentateur commence par construire une collection (par exemple $3R$ et $3r$), puis demande à l'enfant de construire à son tour une collection pour que les choses aillent bien ensemble, dans chaque collection et entre les deux collections. Le sujet peut procéder à des échanges d'éléments entre les deux collections.

Résultats et conclusion

Disons tout de suite que l'exposé des résultats n'est pas clair. On notera portant que Piaget distingue deux niveaux de réponses. Au niveau préopérateur (c'est-à-dire entre 4 et 6 ans environ), les enfants considéreraient avant tout ce qui se passe à l'intérieur des deux collections, sans les mettre en rapport, et d'autre part ils auraient de la peine à considérer deux critères ensembles. Néanmoins, il semble que lorsque l'expérimentateur construit une collection telle que $3R + 3b$, ils peuvent construire une collection telle que $3B + 3r$ (ce qui suggère qu'ils tiennent compte de l'ordre entre les deux collections et non pas seulement à l'intérieur de l'une d'entre elles !).

Au niveau opératoire, les sujets tiennent comptent explicitement des différents critères de classification et peuvent envisager plusieurs solutions possibles. On relèvera



toutefois la remarque d'un enfant de 7 ans H : « il faut pas me donner des trucs faciles comme ça », qui suggère que le problème en question ne permet pas de bien différencier les réponses des deux niveaux (hormis sous l'angle de la capacité de considérer explicitement les différents critères, et à partir de là d'engendrer différentes solutions possibles).

Dans ses conclusions Piaget observe que les symétries sont très tôt utilisées par le sujet pour réunir des petits groupes d'objets dans des ensembles qui préparent « les futures classifications et sériations » (p. 141). Leur utilisation précoce tient sans doute en ce qu'elles sont « facilitées par leur caractère partiellement spatial » (id.).

Conclusions de la première partie

Dans ces conclusions, qu'il considérait alors comme provisoires, Piaget classe les différentes sortes de significations et d'implications entre significations.

Il part des prédicats (qui rassemblent différents objets selon une propriété qui leur est commune). Ils peuvent être reliés entre eux par des « préopérations » de conjonctions obligées ou libres, ou encore pseudo-obligées (p. 143).

Un objet consiste ensuite « en un ensemble de prédicats conjoints » et leur signification revient à « ce qu'on peut en faire » (p. 144). On retrouve ici le rôle de l'assimilation à un schème d'action dans la constitution de la signification d'un objet. Les actions se définissent quant à elles par « ce à quoi elles aboutissent » (id.).

L'auteur constate aussi la présence de « degrés » dans les significations. Elles peuvent rester locales en tant que relatives au contexte actuel, « systémiques » « en tant que préparant la construction des structures » (p. 144) et enfin « structurales » en tant que « portant sur les compositions internes de structures déjà constituées » (id.).

Pour ce qui est de la « signification des significations », Piaget considère ces dernières comme « les seuls instruments de la compréhension », à la différence des « simples constats » qui « avant d'être revêtus de significations ne fournissent que des extensions, sans intelligibilité par elles-mêmes » (p. 144). Notons qu'il est difficile de concilier cette dernière affirmation avec celle selon laquelle toute lecture de l'expérience est réalisée grâce à des assimilations à des schèmes, assimilations qui automatiquement entraînent l'attribution d'une signification au contenu de l'expérience. Il y a donc ici un problème dont la solution réside peut-être dans le caractère encore tout provisoire, et non destiné à la publication, de ces conclusions.

Ensuite est reprise la question de l'implication signifiante, que l'on ne saurait confondre avec l'implication matérielle de la logique propositionnelle classique. Il y a implication signifiante entre A et B dans la mesure où une signification de B est « englobée (inhérence) dans celle de A, et si cette signification est transitive » (p. 145 ; transitive si celle de C est englobée dans celle de B et de A). L'auteur insiste encore une fois sur l'existence d'une logique de l'action, avec les implications qui la caractérisent, cette logique formant le substrat de la « logique opératoire ». Les implications entre actions peuvent présenter 1. une forme proactive (si on a A on aura B),



2. une forme rétroactive (B implique A à titre de condition préalable) et 3. une forme justificatrice « si elle relie les formes (1) et (2) par des connexions nécessaires atteignant aussi les ‘ raisons ’ » (p. 146).

Les liaisons initiales que l'on trouve dans ces implications entre actions constituent des « fragments de structures, qui se coordonnent progressivement jusqu'à la constitution des ‘ groupements ’ à partir de 7-8 ans » (p. 146). Les connexions que l'on y trouve sont aussi des anticipations des seize opérations de la logique des compositions binaires de propositions ; mais plutôt que seize préopérations univoques, on a seize « casiers » remplis chacun d'un petit nombre de variantes différentes des préopérations. Il y donc formation précoce d'intersections, d'incompatibilités, etc., entre actions (et non pas encore entre énoncés, bien que des énoncés puissent déjà les traduire). Et chacune de ces connexions, comme le « et », le « ou », etc., ont différentes formes, de telle sorte que l'on a plus de préopérations que les seize opérations binaires (par exemple, les conjonctions libres, obligées, pseudo-obligées etc.).

Conclusions générales (par R. Garcia)

Ces conclusions générales devaient être initialement rédigées par Piaget. Comme cette partie est restée inachevée, R. Garcia s'est chargé de cette rédaction finale, peut-être préparée lors des ultimes discussions entre les deux savants et par des notes alors rédigées en vue de cette conclusion générale.

Précisons que Garcia a fait précéder ces conclusions générales de trois autres chapitres dans lesquels il résume certains points de l'épistémologie piagétienne (notamment la question des rapports entre logique et épistémologie), ainsi que la « logique de l'entailment », d'Anderson et Belnap, logique dont l'intérêt est d'avoir complété celle, classique, de la déduction, trop basée sur le traitement des rapports de vérité, par une logique tenant compte de la pertinence des propositions, ou encore de leur signification.

En ce qui concerne les conclusions générales, après avoir rappelé ce qu'il faut entendre par signification des objets et des actions, et rappelé aussi le passage progressif des coordinations d'actions à leurs anticipations (et donc à des compositions inférentielles), Garcia résume les différentes formes d'inférences (anticipations locales, anticipations dépassant le constatable, inférences fondées sur des raisons) et les différentes formes d'implications (locales, systémiques¹³⁵ et structurales).

Une autre distinction rapportée par Garcia est celle des implications proactives (portant sur les conséquences), rétroactives (remontant aux conditions) et justificatrices (approfondissement par la découverte des raisons).

Ensuite il rappelle comment ces recherches ont mis en évidence la présence de connecteurs logiques entre actions, qui anticipent les seize connecteurs de la logique binaire



des propositions. Il souligne aussi qu'il n'y a là nulle contradiction avec l'affirmation selon laquelle il faut attendre la pensée hypothético-déductive pour que ces seize opérations logiques apparaissent, puisque c'est alors seulement qu'elles constituent un système d'ensemble. Avant ce regroupement en structures d'ensemble on ne trouve que des regroupements partiels, des « fragments de structures », qui, dans un premier temps, aboutiront aux groupements opératoires observés à partir de 7 ou 8 ans.

Aux seize connecteurs de la logique binaire correspondent d'ailleurs plus de seize préopérations composant des significations. Les recherches montrent en effet l'existence d'au moins trois formes de conjonctions (libres, obligées, pseudo-obligées). De même de multiples négations peuvent-elles être distinguées (les négations « proximales », qui font référence à l'emboîtement le plus proche, et « distales », pour lesquelles le système de référence est tout l'univers du discours).

Enfin, Garcia ajoute quelques remarques finales, qui résument ce qui précède et ajoutent l'idée que les différents foncteurs ou connecteurs de la logique des significations (les différentes conjonctions, etc.) seraient élaborés « en s'appuyant chaque fois sur des implications signifiantes réductibles à des combinaisons d'implications et de négations » (p. 197). Cette affirmation se vérifie du point de vue formel (ainsi une conjonction obligée entre p et q peut se définir comme la négation de l'implication entre p et $\text{non-}q$). Mais les recherches exposées dans cet ouvrage ne semblent pas avoir été développées jusqu'au point de pouvoir apporter une confirmation expérimentale à cette thèse. De manière générale, ces recherches apparaissent plutôt comme une première réponse à ce qui était le but principal des deux auteurs : compléter la conception classique de la logique opératoire et de ses origines, en tenant plus systématiquement compte non seulement du caractère extensionnel des opérations (et préopérations) logiques, mais aussi de leur caractère intensionnel. A cet égard, et comme cela a déjà été signalé dans l'introduction, le titre « Vers une logique des significations » souligne bien tout ce qui reste à faire pour accomplir un tel projet. Ajoutons que, dans la mesure où le caractère intensionnel est fortement lié au fait que les activités intellectuelles du sujet se passent toujours en situation, et qu'il s'agit dès lors d'établir une conception qui noue ensemble les caractères structuraux et fonctionnels (procéduraux) des activités logiques, il est possible que l'on ne parvienne pas à trouver des modèles aussi généraux que ceux élaborés à propos des structures opératoires (pour lesquels les problèmes liés au traitement de la signification pouvaient plus facilement être neutralisés). Si c'était le cas, la psychologie et l'épistémologie génétiques trouveraient sur leur chemin les mêmes limites de modélisation que celles rencontrées par l'intelligence artificielle.

¹³⁵ Les implications systémiques porteraient sur ce qui est possible et sur ce qui ne l'est pas. Garcia ajoute que ces inférences ne suffiraient pas « pour parvenir aux liaisons nécessaires » et qu'il y aurait alors « confusion entre nécessité et généralité » (p. 192). Cependant, à se rapporter aux chapitres expérimentaux, on peut se demander si le sujet de niveau II ne parvient pas déjà à distinguer des rapports nécessaires, même s'il ne peut pas encore en dégager la raison (par une thématization de la structure qui n'est acquise qu'au niveau III, c'est-à-dire au niveau des implications structurales).





Conclusions

Les onze recherches considérées dans cet ouvrage concernent toutes, à des titres variés, le constructivisme génétique, c'est-à-dire la thèse selon laquelle le sujet est le créateur, par étapes, de sa propre intelligence et de ses connaissances, quand bien même cette création nécessite l'intervention de facteurs biologiques et sociaux.

Ces recherches peuvent être réparties en quatre groupes. Le premier est constitué des travaux ayant directement pour objet les mécanismes de construction de l'intelligence et des connaissances logico-mathématiques et physiques. On y rangera les études sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation, mais aussi celles sur la prise de conscience et sur les rapports entre réussir et comprendre, ainsi que les travaux sur la contradiction.

Le second groupe est formé des recherches sur l'évolution du possible et du nécessaire, considérée dans son rapport avec le développement des opérations constitutives de l'intelligence. Nous le désignerons par sa caractéristique la plus frappante : l'insistance mise sur le double caractère, créateur et intégrateur, de l'évolution cognitive. On notera également à son sujet qu'il concerne lui aussi assez directement la question des mécanismes de construction, dans la mesure où il a permis de mettre en évidence une forme nouvelle de l'équilibration cognitive « majorante », portant sur « la différenciation des possibles et l'intégration nécessitante »¹³⁶.

Le troisième groupe porte sur l'évolution des correspondances et des morphismes dans leur rapport avec le développement des activités transformatrices. Par rapport au constructivisme, la thématique que ce troisième groupe aborde permet une analyse plus fine des apports mutuels de l'objet et du sujet dans l'évolution cognitive. Enfin, le dernier ensemble de recherches porte sur le rôle du traitement des significations dans l'évolution cognitive et sur la nécessité de compléter l'ancienne logique opératoire par une logique des significations qui fasse mieux ressortir la particularité des connexions entre significations établies par les sujets au cours de leurs activités intellectuelles.

Considérons tour à tour ce que l'on peut tirer des ouvrages précédents en ce qui concerne ces quatre grandes directions de recherches, avant de tenter d'en donner un bilan d'ensemble.

¹³⁶ Rappelons que l'équilibration majorante est le mécanisme général (englobant toute une série de sous-mécanismes, par exemple l'abstraction réfléchissante) évoqué par Piaget pour rendre compte des particularités de la genèse des structures rationnelles, notamment son universalité et son caractère intégrateur des structures anciennement construites dans les structures ultérieures.



a. Recherches sur les mécanismes de construction

Commençons par rappeler la place de ces recherches par rapport à l'ensemble de l'œuvre. Il convient tout d'abord de noter que Piaget n'a pas attendu les années 70 (ou plus précisément la fin des années 60) pour s'interroger sur ces mécanismes. De tout temps, les quatre questions de structure, de genèse, de fonctionnement et de mécanisme de construction ont été présentes dans ses travaux, psychologiques aussi bien que biologiques. Pourtant, à certaines étapes d'élaboration de l'œuvre, certaines de ces perspectives ont pu être négligées face aux autres. En fait, il semble que seules les années consacrées à l'étude de « la naissance de l'intelligence sensori-motrice » et de la « construction du réel » chez l'enfant se caractérisent par une balance à peu près égale de l'attention portée à chacune de ces perspectives. La raison en est d'ailleurs assez simple : la nature même de l'objet examiné, les conduites sensori-motrices, facilitait ce quadruple regard. Tout au long des enquêtes sur la genèse de la pensée opératoire, c'est au contraire la mise en évidence des compétences intellectuelles cachées des enfants à différents niveaux de leur développement cognitif, donc la double dimension génétique et structurale, qui a naturellement été portée au premier plan. S'arrêter sur le détail des conduites aurait fait perdre de vue l'appartenance structurale commune des multiples opérations utilisées par le sujet lors de ses interactions avec des objets de toute nature, leur regroupement selon des catégories épistémiques correctement et efficacement différenciées. Au contraire, lorsque le psychologue s'attache avant tout à examiner le fonctionnement des conduites d'un sujet, ou les processus par lesquels il construit une nouvelle notion et une nouvelle opération, la description structurale passe à l'arrière-plan, dans la mesure où elle tend précisément, et pour ainsi dire par essence, à faire abstraction de la grande variabilité des chemins tracés et des instruments (images, perceptions, actions, etc.) utilisés par la pensée cherchant des solutions aux problèmes toujours renouvelés qu'elle se pose ou auxquels elle se voit confrontée.

Bilan des travaux sur la prise de conscience et les rapports entre l'action et sa conceptualisation

La première leçon que l'on peut tirer des recherches sur la prise de conscience est que ce processus n'est pas du tout réductible à l'idée commune que l'on se fait de la conscience : celle d'un projecteur venant illuminer de son faisceau une série d'objets ou d'actions qui ne seraient en rien susceptibles d'être modifiés par lui. Cette thèse assez commune est doublement erronée.

Premièrement, la mise en évidence, dans toutes les recherches, d'étapes successives dans les prises de conscience de leurs actions chez les enfants interrogés démontre combien l'étendue et la finesse de celles-ci dépendent toujours d'un cadre notionnel d'assimilation (qui, en retour, dépend lui-même des progrès de la prise de conscience !). Certes, les recherches montreront la nécessité de distinguer des prises de conscience élémentaires, non liées à des activités de conceptualisation (c'est le cas notamment sur le plan de l'intelligence sensori-motrice). Mais même à ce niveau élémentaire, prendre conscience apparaît comme une activité cognitive, faite de clas-



sifications, de comparaisons, etc., qui, comme tout autre domaine de connaissance, peut comporter des lacunes ou aboutir à des échecs.

Deuxièmement, la prise de conscience n'est nullement un épiphénomène, qui n'aurait aucun effet sur le déroulement des actions sur lesquelles elle porte. En contribuant à organiser et à orienter l'action, elle peut même jouer un rôle important dans le développement cognitif du sujet et dans le passage d'un niveau de conduites à un autre.

L'étude psychogénétique de l'activité de prise de conscience montre en outre comment celle-ci procède de la « périphérie au centre », et cela de manière complémentaire par rapport aux progrès de l'explication physique. Les prises de conscience observées dans cette étude se font par exemple à partir du but que se fixe le sujet, ou encore à partir des résultats de l'action, pour remonter progressivement aux coordinations d'actions grâce auxquelles ce but est atteint, ces résultats sont produits. Elles conduisent ainsi le sujet à une connaissance de plus en plus approfondie des actions et de leurs formes d'organisations, par lesquelles il structure (« informe ») et transforme la réalité « extérieure », ou, simplement, en découvre les régularités empiriques. En sens inverse, au fur et à mesure que le sujet progresse dans la prise de conscience de son action, il fait de même dans sa connaissance de l'objet. On retrouve ainsi, sur le plan de ces nouvelles recherches, cet ancien constat d'une différenciation progressive du sujet et de l'objet, au moins en ce qui concerne les étapes de la prise de conscience de l'action propre d'un côté, et des propriétés des objets de l'autre côté. Mais ce constat des deux mouvements complémentaires et simultanés d'extériorisation de l'explication physique (ou de l'objet connu) et d'intériorisation de la prise de conscience (ou du sujet en tant que connu) est maintenant supporté par les résultats des nombreuses enquêtes rapportés dans les deux ouvrages en question.

Toujours sur le plan du mécanisme, ces recherches révèlent aussi comment la progression des prises de conscience et celle de la connaissance des propriétés de l'objet se font à travers des interactions de toute sorte entre observables sur l'objet, observables sur l'action propre, coordinations des actions du sujet, causalité, c'est-à-dire coordinations des actions prêtées à l'objet et à soi-même, auxquelles viennent s'ajouter des coordinations inférentielles à partir du moment où la conceptualisation est possible. Dans ce jeu complexe et subtil, qui fait intervenir tant des observables que des croyances, des conflits sont possibles, qui peuvent entraîner des refoulements provisoires empêchant le sujet d'intégrer à sa prise de conscience des observables sur l'action propre ou sur les objets, et qui ne seront dépassés que par la construction de nouveaux cadres d'assimilation.

D'autre part, les recherches sur la prise de conscience et son mécanisme ont conduit à distinguer deux grandes modalités d'intervention de celle-ci, selon que la résolution des problèmes exige ou non l'intervention d'activités proprement conceptuelles. Il est des « problèmes », comme par exemple celui d'atteindre une cible avec un projectile, pour lesquels une telle intervention n'est pas forcément nécessaire (elle le sera pourtant si le problème ne peut pas être résolu sans elle, et notamment si la situation est rendue suffisamment compliquée par un expérimentateur malicieux).



En pareil cas, la solution du problème sera atteinte par des régulations et par des coordinations sensori-motrices de l'action qui échappent plus ou moins largement à la conscience. Au contraire, il est des problèmes dont la résolution exige nécessairement l'intervention de la conceptualisation, ou, en d'autres termes, de la pensée (ils ont été traités dans les recherches sur les rapports entre réussir et comprendre). Là, à moins d'un coup de chance, les régulations et les coordinations sensori-motrices ou pratiques non consciemment réalisées ne suffisent plus à elles seules à permettre au sujet de trouver la solution, et d'atteindre le but qu'il s'est fixé. Il lui faudra alors procéder à des régulations recourant forcément aux instruments de la pensée préopératoire ou opératoire, et plus particulièrement à des coordinations inférentielles.

L'opposition entre ces deux types d'actions, dont les unes, au contraire des autres, exigent pour leur accomplissement l'intervention d'activités supérieures de conceptualisation, conduit Piaget à distinguer différents degrés de prise de conscience (et de conscience). Une première forme intervient déjà sur le plan de la progression des activités sensori-motrices, notamment dans le contexte de la coordination des actions telle qu'on l'observe dans les anciennes recherches sur la naissance de l'intelligence chez le bébé (les anciennes observations sur les comportements de coordination des moyens et des fins faites par Piaget sur ses trois enfants conservent ici toute leur valeur). Mais cette première forme de prise de conscience se retrouve sur le plan supérieur de la pensée, dans le contexte de la coordination des préopérations ou des opérations. Par contre, et c'est là une découverte par rapport à la psychologie génétique des décennies précédentes, une autre forme, ou plutôt un autre degré de prise de conscience apparaît dans le cas où celle-ci est étroitement associée à une activité de conceptualisation (ou de verbalisation ou de thématization). Alors se manifestent en effet des « coordinations inférentielles », dont la prise en considération dans le cadre de la théorie constructiviste de l'intelligence et des connaissances est toute récente, puisqu'elle a débuté dans le contexte des recherches sur la causalité opératoire, dans les années 60.

Ce rapide survol de quelques-unes des leçons que l'on peut tirer des recherches sur la prise de conscience et la conceptualisation de l'action devrait suffire à rappeler le caractère actif, complexe et fécond de la prise de conscience. Il devrait aussi suffire à montrer comment ces recherches sont porteuses de celles à venir sur le rôle des conflits et autres contradictions dans les constructions cognitives, sur la dialectique et la logique des significations, et naturellement sur l'abstraction réfléchissante.

Avant d'établir le bilan des autres travaux, il reste à considérer encore une leçon majeure des études sur la prise de conscience : celle portant sur les raisons de l'apparition de cette activité. Dans ses recherches sur la genèse de l'intelligence, Claparède avait déjà montré le rôle joué par la désadaptation. La rencontre de difficultés dans l'essai de trouver une solution à un problème attire l'attention du sujet sur des aspects de son action ou de la situation qui, sans cela, resteraient inaperçus. Une partie des études sur la contradiction aura pour objet la mise en évidence des raisons de la désadaptation. En attendant, tout en admettant le rôle reconnu de la désadaptation dans l'apparition des prises de conscience, Piaget conclut à la présence d'une autre raison



fonctionnelle majeure expliquant cette apparition : le besoin de comprendre, ou la « recherche des raisons ». A partir d'une certaine étape de son développement, le sujet ne se satisfait plus de la simple réussite. Il éprouve le besoin de comprendre pourquoi telle ou telle action a permis d'atteindre la solution. Ce puissant mobile, non réductible à la désadaptation pratique, le conduit à étudier dans le détail les articulations de son action. Remarquons pourtant que, dans ce complément apporté ici à la thèse pragmatiste, Piaget oublie de tenir compte de la possible présence, dès l'intelligence sensori-motrice, d'un tel besoin de comprendre. Ceci n'enlève en rien à la valeur des résultats exposés dans les deux ouvrages en question et permet au contraire d'en étendre un peu les conclusions, tout en soulevant un ensemble de problèmes non traités dans les recherches sur la prise de conscience, comme celui de la présence d'une logique des significations agissant au cœur même de l'intelligence sensori-motrice, ou encore celui de la différence entre la compréhension qui se déroule sur le plan de l'action, et celle qui se passe sur le plan plus détaché de la conceptualisation (peut-être ce dernier problème aurait-il été abordé dans le dernier thème que Piaget avait mis au programme du CIEG, mais qu'il n'a pas pu conduire à son terme, à savoir l'étude des « raisons » ?).

Recherches sur la contradiction

On vient de voir que les travaux sur la prise de conscience ont révélé la présence fréquente de contradictions dans les activités de résolution de problèmes chez les enfants et dans les conceptualisations qu'ils sont amenés à développer au cours de ces activités. De fait, la présence assez massive de telles contradictions pouvait difficilement échapper à Piaget et à ses collaborateurs du CIEG, ce d'autant plus que plusieurs d'entre eux partageaient plus ou moins largement les thèses du marxisme dialectique alors en vogue. Il y a d'ailleurs incontestablement une certaine parenté entre ces thèses et celles du constructivisme génétique. Toutefois un certain nombre d'oppositions fondamentales les séparent, dont, précisément, celle du statut qu'il convient de donner à la contradiction dans le développement de la pensée. Pour une certaine interprétation du marxisme dialectique tout au moins, le réel est foncièrement contradictoire, la pensée y comprise. Sans nier le rôle des contradictions, déjà mis en évidence par des recherches antérieures et qui sera largement confirmé par les nouveaux travaux portant sur ce thème, Piaget continue à croire que toute la pensée n'est pas de part en part contradictoire, et qu'un facteur plus fondamental, lié au mécanisme de l'équilibration, est à l'origine des contradictions constatées chez l'enfant, mais aussi dans la science. Ce facteur est l'existence d'un déséquilibre général qui caractériserait la pensée à certaines étapes de son développement (la généralisation de cette thèse au terrain de l'histoire des sciences permet de relativiser cette notion d'étape, c'est-à-dire de ne pas l'identifier avec les grands stades du développement cognitif mis en évidence dans les travaux classiques de psychologie génétique sur le développement des notions chez l'enfant).

En étudiant la nature et l'origine des contradictions chez l'enfant, le premier objectif de la recherche psychogénétique est alors de révéler laquelle des deux thèses du primat de la contradiction ou du primat du déséquilibre est la bonne.



Avant de résumer les résultats de cette étude, il faut rappeler quel genre de contradictions intéresse ici l'auteur. Il ne s'agit pas principalement des contradictions logiques que peut rencontrer toute pensée « adulte », notamment à la suite d'erreurs de raisonnements (en pareil cas, cette pensée logique sait reconnaître la contradiction, et éventuellement retrouver les erreurs ayant abouti à celle-ci). Piaget rejoint ici, au moins partiellement, les thèses dialectiques, en s'intéressant davantage aux contradictions qui seraient de vrais moteurs des transformations de la pensée, c'est-à-dire aux contradictions « réelles » ou « fonctionnelles » inhérentes à cette pensée, du moins à certaines étapes de son développement.

Les nombreux résultats recueillis dans les enquêtes psychogénétiques permettent de distinguer différentes sortes de contradictions. En plus des pseudo-contradictions ou des pseudo-impossibilités soutenues par les sujets (par exemple, le refus d'accepter l'idée d'un verre à moitié plein, sous le prétexte qu'il vient d'être jugé à moitié vide), qui sont des sortes d'anticipations, mais mal appliquées, du futur principe de non-contradiction¹³⁷, on découvre chez l'enfant de nombreuses contradictions entre anticipation et constat, ce qui n'a d'ailleurs rien de surprenant mais qui nécessite une explication. Certaines résultent du fait qu'une action jugée identique peut aboutir à des résultats contraires (par exemple, l'action du centre de gravité d'une roue qui la fait monter, alors que le sujet s'attend à ce qu'elle descende). D'autres découlent de subdivisions fallacieuses d'une classe en sous-classes disjointes (comme par exemple la répartition de disques en classes de différentes grandeurs, certains disques étant successivement considérés comme appartenant à différentes sous-classes). D'autres enfin peuvent découler de fausses implications (par exemple, de ce que tous les objets d'une collection sont des cubes rouges et sonores, en déduire faussement que tous les cubes sonores que l'on peut toucher sans les voir sont rouges).

Mais une analyse serrée de ces différentes sortes de contradictions « réelles » (et non pas logiques, au sens d'une pensée logique qui sait les reconnaître) montre qu'elles partagent toutes un trait commun : un déséquilibre ou une compensation incomplète entre les affirmations et les négations (dans le cas de la roue qui remonte la pente, par exemple, toutes les actions de son centre de gravité sont identifiées à la sous-classe des actions la faisant descendre).

La question est alors de savoir à quoi est dû ce déséquilibre constamment observé dans les conduites et les réponses des enfants préopérateurs. Différents facteurs sont en jeu, dont deux majeurs, liés l'un au sujet, l'autre à l'objet. En ce qui concerne le premier, il tient dans le fait que toute activité du sujet est orientée vers la satisfaction d'un besoin, l'atteinte d'un but ou l'accomplissement d'une tâche. Tout ce qui va dans le sens de favoriser l'accès le plus rapide au but visé est privilégié ; au contraire tout ce qui, aux yeux du sujet, paraît contrecarrer cet accès tend à être écarté du réel

¹³⁷ D'où provient cet interdit logique, ces pseudo-impossibilités, que l'on trouve chez les enfants préopérateurs ? Piaget ne cherche pas répondre à cette question. Sur le plan du jugement moral, les premiers interdits étaient expliqués par l'hétéronomie morale du jeune enfant, c'est-à-dire par le recours à un principe d'autorité extérieure (Piaget, 1932). Faut-il admettre une explication similaire, un recours à une forme d'hétéronomie logique, sur le plan du jugement logique, ou bien convient-il d'évoquer, comme nous l'avons fait ici, l'intervention d'une sorte de principe fonctionnel de contradiction logique (par exemple, face à un objet de couleur rouge, le jeune enfant jugera faux l'affirmation selon laquelle cet objet serait bleu, et il dériverait à partir de cette sorte d'expérience précoce du faux logique le refus primitif de ce qui lui apparaît comme logiquement impossible) ? Ces deux explications ne sont au reste pas incompatibles.

considéré par lui, à supposer même qu'il l'ait perçu. De même, comme on l'a vu dans le travail sur la prise de conscience, la conscience du but précède la conscience des moyens permettant d'y accéder, et il faut toute une activité intellectuelle pour que le sujet découvre progressivement la chaîne des moyens et la nécessité de tenir compte des obstacles. Quant à la réalité telle qu'elle s'impose au sujet, il est bien clair que, considérée en elle-même et abstraction faite des attentes du sujet et de toute l'organisation qu'il va progressivement lui apporter, elle s'offre dans toute sa positivité (comme les anciens philosophes l'affirmaient, le néant n'est pas, et même s'il était, ajouterons-nous, il apparaîtrait sous forme positive au sujet, de la même façon que le noir lui apparaît comme une couleur aux côtés des autres).

Ces deux facteurs, la tension du sujet vers le but et le remplissement du champ de perception par le « réel » font comprendre pourquoi, dans les étapes initiales de toute évolution cognitive, et spécialement du développement de l'action puis du développement de la pensée, on trouve un déséquilibre des traits positifs ou des affirmations par rapport aux traits négatifs ou aux négations. Ainsi, lorsqu'un objet apparaît comme particulièrement grand (ou petit), il n'est pas naturel de considérer tout aussitôt le fait que le même objet peut être jugé petit (ou grand) par rapport à d'autres. Cela dit, cette dissymétrie ne se répercute pas seulement sur la qualité des négations traitées par sujet ; elle se répercute aussi sur la qualité des affirmations (leur stabilité). Une description par stade de l'évolution des affirmations comme des négations montre l'étroit parallélisme de cette double évolution. Si on considère par exemple le dernier stade (le troisième), relativement à un problème donné, ce n'est que lorsque toutes les négations, inverses des affirmations, auront été construites par le sujet, ou seront concevables par lui, que celles-ci se stabiliseront, ne se contrediront plus et prendront tout leur sens (sur le plan de la pensée commune et non pas scientifique, un chat est d'autant mieux connu comme chat que la classe à laquelle il appartient peut être mise en rapport avec sa complémentaire pour former la classe des animaux, et que, par ailleurs, celle-ci est également mise en rapport avec les végétaux pour former la classe des êtres vivants).

Mais il y a plus. Les trois étapes de construction des négations correspondent aux niveaux de régulations par lesquelles le sujet est capable de dépasser les contradictions qu'il rencontre : le niveau alpha¹³⁸, dans lequel les négations s'imposent exclusivement de l'extérieur sans que le sujet puisse les intégrer, et que celui-ci ne peut donc qu'écarter de son champ de conscience (selon une conduite de refoulement qui ne s'applique pas seulement à la vie affective) ; le niveau beta, dans lequel le sujet accepte les démentis de l'expérience en essayant d'en tenir compte dans ses activités futures ; enfin le niveau gamma, dans lequel les négations que pourrait apporter l'expérience (logico-mathématique aussi bien que physique) sont parfaitement anticipées grâce aux systèmes d'opérations alors acquis (toute addition est parfaitement compensée par la soustraction qu'elle implique, d'où les conservations, conditions de stabilité de la pensée logique et scientifique).

Enfin, aux trois niveaux des affirmations et des négations correspondent trois niveaux des contradictions. Le premier est celui des contradictions que le sujet rencontre avec les échecs de l'action. Le second est celui des contradictions entre sous-systèmes de la pensée. Enfin le troisième est la contradiction logique, qui n'est plus une contradiction interne de la pensée, mais un principe de régulation, un interdit logique.

Quant au mécanisme par lequel les contradictions sont progressivement dépassées, il consiste précisément dans la lente conquête des négations complémentaires des



affirmations. Cette conquête se traduit par une relativisation des notions (par exemple, de la notion de grandeur). Elle se traduit aussi par un affinement, des corrections, ou encore un élargissement progressif des référentiels logiques par rapport auxquels les affirmations et les observables prennent sens (par exemple, saisir qu'une « loi », comme celle selon laquelle un poids greffé à un objet le fait descendre, ne s'applique que sous telle ou telle condition). Cet élargissement implique la construction de négations nouvelles, mais aussi la possibilité de nouvelles affirmations, ainsi que des coordinations inférentielles et des inventions conceptuelles (par exemple la notion d'imperceptible).

Abstraction réfléchissante et généralisation constructive

L'abstraction réfléchissante.— Avec le chapitre de l'abstraction réfléchissante, on aborde une notion centrale du constructivisme génétique. Cette notion a son origine dans la double découverte de la présence de groupes « mathématiques » (ou plus précisément de groupements¹³⁹) dans les comportements sensori-moteurs des enfants de 1 an H environ¹⁴⁰, puis de toute une série de groupements et de groupes sous-tendant la pensée concrète de l'enfant de 7 à 10 ans. Cette double découverte ne confortait pas seulement chez Piaget la thèse selon laquelle il existe un lien de continuité entre les formes mathématiques et les formes biologiques. En révélant l'existence d'une parenté structurale étroite entre les formes d'organisation ou de coordination des actions mises en évidence sur le plan sensori-moteur, celles mises en évidence chez l'enfant de 7 ans, et enfin les structures mathématiques découvertes par les mathématiciens dès la fin du XIX^e siècle, elle apportait du même coup une solution plausible au problème de l'enracinement des formes logico-mathématiques dans les formes biologiques. Cette solution, c'est précisément l'abstraction réfléchissante. Bien que plus abstraites, les formes logico-mathématiques de la pensée concrète reflètent au moins partiellement celles constatées dans les coordinations générales des actions sensori-motrices du sujet. Et il en va de même en ce qui concerne les structures de la science mathématique par rapport à celles de la pensée opératoire, une thèse qui n'aurait pas du tout heurté certains mathématiciens du siècle dernier qui recherchaient déjà dans les pratiques arithmétiques et géométriques les plus élémentaires les germes de leur science (Brunschvicg, 1912).

¹³⁸ Rappelons que les niveaux alpha, beta et gamma de régulations sont décrits par Piaget dans *L'équilibration des structures cognitives*, ouvrage qui, en un sens, constitue une synthèse théorique partielle des recherches sur l'abstraction réfléchissante et sur la contradiction.



Dès 1950, l'abstraction réfléchissante était ainsi reconnue comme le processus par lequel des formes logico-mathématiques de plus en plus abstraites seraient édifiées sur des formes préalablement construites, d'abord sur le plan des coordinations d'actions, puis sur celui des différents paliers de pensée mis en évidence par les recherches psychogénétiques.

Lorsque, dans les années 70, Piaget se penche sur les mécanismes de construction des connaissances, le statut de l'abstraction réfléchissante est partiellement modifié. De solution apportée au problème de l'origine des connaissances et des « êtres » mathématiques, elle devient problème ou objet d'interrogation et d'étude. A quel niveau le mécanisme d'abstraction réfléchissante apparaît-il ? Comment ce mécanisme se concrétise-t-il dans les faits ? Existe-t-il un développement de l'abstraction réfléchissante ? Ces questions ne sont certes pas explicitement formulées par l'auteur. Mais en décidant de consacrer des recherches psychogénétiques au problème de l'abstraction réfléchissante, il impose dans les faits de telles interrogations. Les réponses qui leur seront apportées resteront il est vrai en partie insuffisantes, notamment en ce qui concerne le mécanisme lui-même, c'est-à-dire l'ensemble des actions et des régulations par lesquelles les formes logico-mathématiques présentes à un certain niveau de développement sont réfléchies et reconstruites sur le niveau suivant. Néanmoins des débuts de réponse sont apportés, non seulement dans les enquêtes explicitement consacrées à l'abstraction réfléchissante, mais aussi dans d'autres, ultérieures, comme celles portant sur les correspondances, les morphismes et les catégories.

Parmi les principaux apports des enquêtes sur l'abstraction réfléchissante, on peut mentionner l'élargissement et la « psychologisation » de ce processus. En affirmant explicitement que l'abstraction réfléchissante fonctionne déjà au sein des conduites sensori-motrices, et qu'elle intervient dans la progression des coordinations sensori-motrices des actions, Piaget lui donne une portée plus large que celle que laissait entrevoir l'usage de la notion dans les années 50 et 60. C'est ce que suggère en tout cas l'exemple du bébé qui observe des coordinations d'actions acquises par tâtonnement pour en extraire des moyens efficaces de résolution de problèmes (comme attirer un objet vers lui au moyen d'instruments). L'ordre de succession des actions alors dégagé par lui n'est certes pas encore un ordre de portée générale. Il reste comme enchaîné aux actions matérielles. Mais il n'y en a pas moins déjà ici quelque chose qui s'apparente au processus par lequel des formes plus abstraites seront créées et deviendront objet même des pensées du sujet.

Il est de plus évident qu'en recherchant et en découvrant des processus d'abstraction réfléchissante sur le plan de la progression de l'intelligence sensori-motrice ou de l'intelligence pratique, Piaget tend du même coup à « psychologiser » l'abstraction

¹³⁹ Un groupement mathématique se distingue d'un groupe par une moins grande généralité de la propriété d'associativité de ses composantes. Alors que l'on peut composer n'importe quelle opération numérique additive avec n'importe quelle autre, lorsqu'on se déplace matériellement dans l'espace, chaque déplacement ne peut être associé qu'avec d'autres déplacements dont le point de départ est identique au point d'arrivée du premier. Même limitée, cette propriété d'associativité des déplacements est importante du point de vue de l'intelligence sensori-motrice puisqu'elle permet au sujet de maîtriser la conduite de détour.

¹⁴⁰ La découverte de groupements dans les comportements sensori-moteurs intelligents des enfants de 1 an H apportait une confirmation partielle à une thèse sous-tendue par Henri Poincaré dès la fin du XIX^e siècle, qui voyait dans la notion mathématique de groupe l'une des clés de l'intelligence.



réfléchissante, c'est-à-dire à la considérer comme composée d'activités psychologiques. C'est pour réussir à atteindre tel ou tel but que le sujet en arrive à s'intéresser à l'organisation logico-mathématique de ses actions, à en prendre conscience (avec les moyens dont il dispose alors) et même à la modifier. Mais cette psychologisation de l'abstraction réfléchissante vaut également pour toutes les autres enquêtes psychogénétiques consacrées à ce processus. Lorsqu'on se demande comment les enfants de différents niveaux de développement parviennent à découvrir les régularités logico-mathématiques inhérentes à leurs actions ou à celles d'un autre sujet, il est difficile de ne pas voir dans leurs réponses des activités de représentation, de « récit », de prise de conscience, qui relèvent d'une psychologie des conduites (ce qui ne signifie pas l'absence de conséquences épistémologiques).

Cette façon d'aborder psychogénétiquement le problème de l'abstraction réfléchissante suggère aussi bien sûr que celle-ci n'est pas un processus abstrait, une sorte de *deus ex machina*, grâce auquel un sujet épistémique « éthéré » extraierait, sans qu'il ait à s'engager laborieusement dans des tâches concrètes, une forme contenue dans des actions ou opérations se déroulant sur un certain palier de la hiérarchie des conduites et des connaissances pour la transposer sur un palier supérieur. Et en effet, les analyses des conduites des enfants auxquelles procède Piaget révèlent ce fait de prime abord étonnant, mais qui à la réflexion ne l'est pas, que l'abstraction réfléchissante, pour être le mécanisme au moyen duquel les cadres logico-mathématiques d'assimilation du réel se construisent, n'est pas elle-même imperméable aux progrès de l'intelligence et des connaissances. Comme le montraient déjà les recherches sur la prise de conscience, celle-ci est une activité logique. Il en va de même de l'abstraction réfléchissante, qui intègre d'ailleurs en elle le processus de prise de conscience. Abstraire une forme, c'est-à-dire des régularités, des lois de composition, etc., d'un palier d'activités pour la transposer, en la reconstruisant, sur le palier supérieur, c'est classer les observables sur l'action et les mettre correctement en relation les uns avec les autres, c'est aussi découvrir les liens structureux entre les éléments du palier inférieur. Il est évident, et c'est bien ce que manifestent les résultats des recherches sur l'abstraction, que des enfants de 4 ans n'auront pas le même pouvoir d'abstraction que des enfants de 8 ans ; ou que, lorsqu'on demandera à des sujets de niveau formel de réfléchir sur les opérations qu'ils ont utilisées pour résoudre tel ou tel problème, ces sujets seront beaucoup mieux armés que d'autres, moins avancés, pour dégager les structures imbriquées dans les coordinations de ces opérations.

Enfin, il convient de rappeler comment l'examen des réponses des enfants et de leur évolution a permis de mettre en évidence l'existence, lors des premières étapes, de nombreuses abstractions pseudo-empiriques venant épauler le mécanisme de l'abstraction réfléchissante lors de la prise de conscience de l'ordre incorporé dans les coordinations d'actions. Ceci nous conduit à formuler quelques remarques en ce qui concerne le rapport entre les abstractions empiriques, réfléchissantes et pseudo-empiriques.

L'abstraction réfléchissante se distingue de l'abstraction empirique sur deux plans, l'un épistémologique et l'autre psychologique. Épistémologiquement, la seconde a pour objet la réalité extérieure au sujet. Elle apporte des informations sur les propriétés de cette réalité, et le sujet doit donc impérativement interagir d'une façon ou d'une autre avec elle pour parvenir à abstraire, c'est-à-dire à différencier ou à mettre en exergue tel ou tel de ses traits (la couleur ou le poids d'un fruit, par exemple). Psychologiquement, le moyen par lequel cette reconnaissance d'une propriété de l'objet s'effectue n'a pas la simplicité que lui accordaient les anciens empiristes (ce qui se



répète d'une expérience à l'autre finit par se graver sur un esprit ou un cerveau initialement informe). Abstraire empiriquement un trait exige un cadre logico-mathématique suffisamment élaboré et différencié pour que cette reconnaissance soit possible.

Quant à l'abstraction réfléchissante, l'objet sur lequel elle porte n'est plus la réalité extérieure, mais l'ordre inhérent aux coordinations des actions ou des opérations du sujet. Son mécanisme psychologique n'est cependant pas nécessairement très différent de celui de l'abstraction empirique, du moins pour l'activité qui consiste à extraire l'ordre contenu dans ces coordinations. Il est vrai qu'il comporte une dimension absente de l'abstraction empirique. Le réfléchissement n'est pas seulement un reflet des formes du plan inférieur sur le plan supérieur. Il comporte aussi une activité d'enrichissement : la forme reconstruite sur le plan supérieur est plus riche en possibilités de combinaison que celle du plan inférieur (c'est le cas par exemple des opérations de déplacements matériels ou représentés, par opposition aux simples actions de déplacements matériels). A vrai dire, et comme les futures recherches sur les correspondances et les morphismes le suggèrent, rien ne dit que cette dimension constructive de l'abstraction réfléchissante ne puisse trouver un certain correspondant sur le plan de l'abstraction des propriétés de l'objet extérieur, en donnant ainsi naissance à quelque chose comme une physique mathématique (la géométrie physique, discipline en quelque sorte intermédiaire entre la mathématique pure et la physique, suggère comment un tel enrichissement pourrait être possible).

Quoi qu'il en soit de ce possible rapprochement par le haut des mécanismes constitutifs de l'abstraction physique et de ceux de l'abstraction réfléchissante (l'abstraction physique pouvant entraîner elle aussi un possible enrichissement, par le sujet, des formes de connaissance), les recherches sur l'abstraction réfléchissante ont montré qu'un tel rapprochement se fait au moins par le bas. Lorsque le sujet n'a pas encore les moyens cognitifs (maîtrise d'un cadre logico-mathématique suffisant) pour réaliser une abstraction réfléchissante sur ses coordinations d'actions ou d'opérations, on le voit recourir à des lectures sur la réalité extérieure en tant que celle-ci est formellement enrichie par ces coordinations ou opérations. Le résultat d'une telle manière de faire est ce que l'on pourrait appeler une connaissance « empirique et pseudo-matérielle » (ou « pseudo-physique », plutôt que « pseudo-empirique », qui est l'expression utilisée par Piaget) des propriétés ou des formes logico-mathématiques des actions du sujet¹⁴¹. L'enfant pourra apprendre par exemple la loi d'associativité de l'addition des nombres en la vérifiant à travers les constats qu'il peut faire sur des collections d'objets matériels réunies de différentes manières.

Ce qui précède suggère que le dernier mot n'a pas été dit dans les recherches sur l'abstraction réfléchissante. D'autres recherches devront être conduites pour que l'on se fasse une idée plus précise de son mécanisme sur le plan de la genèse des connaissances logico-mathématiques. Quant à la portée épistémologique des recherches sur l'abstraction réfléchissante, elle est manifeste. En multipliant les exemples de la façon dont le sujet peut tirer des formes de ses coordinations d'actions pour les transposer et les reconstruire sur un nouveau plan, Piaget renforce considérablement la thèse exposée dès 1950 sur l'enracinement des structures logico-mathématiques dans le sujet, et au-delà dans l'organisation biologique (qui supporte les actions du sujet).

La généralisation.— Si, comme les remarques précédentes le suggèrent, les études sur l'abstraction réfléchissante nous laissent un peu sur notre faim quant à ce qu'on pouvait en attendre, notamment du point de vue d'une modélisation ou du moins d'une description relativement précise des mécanismes de cette abstraction, il n'en



va pas de même des recherches sur la généralisation, dans la mesure où elles apportent un regard nouveau sur les processus de construction cognitive. A partir de ces recherches, on a le sentiment que ce que Piaget se plaît à mettre avant tout en valeur dans le constructivisme génétique, c'est moins l'enracinement des nouvelles structures dans les anciennes que le caractère créateur, tourné vers le futur, des constructions cognitives (ce qui bien sûr ne remet pas en cause la thèse centrale de l'abstraction réfléchissante).

Dans les théories classiques sur l'acquisition des connaissances (notamment celles exposées dans les anciens manuels de philosophie et de logique que Piaget pouvait lire dans ses années de formation), les processus d'abstraction et de généralisation étaient conçus comme étroitement liés l'un à l'autre. S'élever par abstraction dans la hiérarchie des concepts, par exemple passer du concept de triangle équilatéral à celui de triangle quelconque, ou du concept de chien ou de chat à celui d'animal, était du même coup étendre sa généralité ou son extension. On retrouve ce lien étroit entre abstraction et généralisation dans les recherches du CIEG sur cette dernière. Mais leur grand intérêt est de renouveler profondément la notion de généralisation, de la même façon que celle d'abstraction avait été renouvelée par la reconnaissance des processus constructifs mis en œuvre par cette forme spéciale qu'est l'abstraction réfléchissante.

Le premier résultat que l'on peut mentionner est la distinction entre différentes sortes ou formes de généralisation, qui recouvre en partie les distinctions faites à propos des processus d'abstraction. On retrouve sur ce plan de la généralisation deux oppositions qui se recouvrent et qui concernent, l'une, la nature des connaissances impliquées dans le processus de généralisation, l'autre la nature des processus d'acquisition. En ce qui concerne la nature des processus en jeu, Piaget distingue d'un côté une généralisation empirique ou inductive et de l'autre une généralisation constructive. On soulignera ici l'emploi de la notion de constructivité en lieu et place de celle de réflexivité pour qualifier cette deuxième sorte de généralisation qui est pourtant l'équivalent de l'abstraction réfléchissante. En plus de l'opposition entre les

¹⁴¹ A supposer que, comme nous le croyons, Piaget ait en grande partie raison d'insister sur l'origine interne des connaissances logico-mathématiques, il n'en reste pas moins que ses choix terminologiques concernant les notions d'abstraction, et même l'opposition qu'il trace entre les notions en jeu, sont partiellement discutables. En effet, ces choix ne dissocient pas ce qui relève des mécanismes psychologiques d'acquisition cognitive et ce qui relève de la question proprement épistémologique de l'origine, interne ou externe au sujet, de certaines sortes de connaissances. Peut-être aurait-il été préférable d'opposer, du côté du mécanisme psychologique, l'abstraction réfléchissante, ou mieux, constructive, à l'abstraction empirique, et du côté de l'origine ou du statut épistémologique, l'abstraction logico-mathématique à l'abstraction physique (ou matérielle). Dès lors, un processus d'abstraction réfléchissante, faisant intervenir des activités d'extraction, puis de construction de formes, pourrait être déclenché en vue de réaliser une abstraction physique (trouver telle ou telle propriété d'un corps physique). En sens inverse, une abstraction empirique (qu'il serait inutile d'appeler pseudo-empirique) pourrait être utilisée en vue de réaliser une abstraction mathématique (la connaissance qui en résulterait appartenant alors au chapitre de la mathématique empirique, chapitre qui, il est vrai, n'occupe plus qu'une maigre place dans la science mathématique moderne, supplanté par ce que l'on pourrait appeler, selon une suggestion de Cellérier, une mathématique symbolique caractérisée par une sorte d'abstraction « symbolique » se substituant alors à l'abstraction empirique). Plutôt que « pseudo-empirique », cette abstraction empirique pourrait être qualifiée de « pseudo-matérielle », dans la mesure où le sujet tendrait à croire que sa connaissance empirique d'une loi mathématique serait tirée des propriétés des objets matériels sur lesquels portent apparemment cette abstraction. En d'autres termes, ce qui est le résultat d'une abstraction empirique n'est pas forcément une connaissance physique, et ce qui est le résultat d'une abstraction réfléchissante pourrait ne pas forcément relever de la connaissance mathématique, mais de la physique mathématique.



généralisations inductives et constructives, l'examen de ces dernières conduit l'auteur à en distinguer deux formes générales : les généralisations synthétiques et les généralisations complétives. Nous rappellerons ce que sont ces deux sous-classes un peu plus loin. Auparavant, considérons brièvement la première opposition qui porte, elle, sur la nature des connaissances en jeu.

Les connaissances relativement plus générales acquises à la suite d'un processus de généralisation peuvent concerner soit une réalité « physique » ou « matérielle », au sens le plus large du terme¹⁴², ou au contraire logico-mathématique¹⁴³. Influencé par les choix terminologiques adoptés sur le terrain de l'abstraction, Piaget proposera d'opposer une généralisation « pseudo-empirique » à la généralisation empirique. Là encore cette distinction signifie que, avant de procéder à des généralisations constructives qui sont constitutives des formes de connaissances logico-mathématiques, les sujets peuvent découvrir des régularités empiriques sur le plan de ces connaissances. Le fait de prendre empiriquement connaissance de ces régularités ne signifierait pas pour autant que celles-ci relèvent de la réalité physique ; d'où le préfixe « pseudo » dans l'expression « pseudo-empirique ». Ces choix terminologiques sont un peu malheureux, puisque ce n'est pas l'opposition entre l'empirique et le non empirique qui est en jeu, mais l'opposition entre le logico-mathématique et le physique. Ils ne sauraient pourtant diminuer l'intérêt de l'examen par Piaget des processus de généralisation chez les enfants et dans certains chapitres de l'évolution des sciences mathématiques.

Ces questions de définitions et de déterminations de notions étant en partie clarifiées, rappelons les résultats des enquêtes quant à l'évolution des généralisations, à la nature des généralisations constructives et aux mécanismes en jeu¹⁴⁴.

Ce que montrent de manière générale ces enquêtes est l'existence d'un passage progressif des généralisations inductives vers des généralisations constructives qui peuvent être de deux sortes, synthétiques ou complétives. Dans toutes les situations où des régularités peuvent être dégagées, on voit que les sujets les plus jeunes, en général vers 5-6 ans, ne parviennent à le faire que pour les régularités les plus simples, et sans jamais pouvoir en fournir la raison. Les généralisations auxquelles ils parviennent restent donc empiriques ou inductives. Mais même ces généralisations ne sont possibles que dans la mesure où le sujet possède les schèmes ou les préconcepts permettant de les observer. De plus, ces généralisations ne signifient pas l'absence de modifications des schèmes d'assimilation. Les schèmes utilisés dans l'observation de nouveaux cas se différencient et s'accommodent pour s'adapter à ceux-ci (par exemple la notion de cygne doit être modifiée pour intégrer le fait qu'il en existe des noirs). Par contre, lors des étapes suivantes de construction, les sujets parviennent à construire des systèmes qui permettent non seulement d'observer, mais aussi de déduire des régularités qui échappaient aux plus jeunes, ainsi que d'en donner les raisons. C'est alors que se manifestent les deux sortes de généralisations constructives : complétives et synthétiques, constatées dans les recherches psychogénétiques, mais aussi dans le développement des sciences mathématiques.

La généralisation synthétique résulte de l'assimilation réciproque entre schèmes, ou de la fusion de systèmes cognitifs antérieurement construits. C'est le cas par exemple 1. du schème intégrant ceux de vision et de préhension, 2. de la fusion des classes et des relations productrice des nombres entiers, 3. de la synthèse entre les opérations des différents groupements de la logique concrète aboutissant à la combinatoire propositionnelle et au groupe INRC qui la sous-tend, ou encore 4. de l'assimilation entre



théories mathématiques à laquelle ont procédé les mathématiciens bourbakistes en leur découvrant des structures communes. A chaque fois on aboutit à des théories ou à des systèmes cognitifs plus riches que ceux de départ.

Il en va de même pour la seconde sorte de généralisation constructive, dite complétive. Un exemple commun au développement cognitif de l'enfant et à l'histoire des mathématiques est celui de la construction des nombres relatifs à partir des entiers positifs. Les limitations du système des entiers positifs ont conduit le sujet à construire celui, plus riche, des entiers relatifs, qui inclut le premier en lui ajoutant des opérations faisant sauter ces limitations.

On retrouve dans les recherches psychogénétiques les mêmes processus de généralisations synthétiques et complétives en tous les cas de dépassements progressifs des premières formes de généralisations inductrices ou empiriques. Par exemple, c'est seulement dans la mesure où le sujet a acquis les opérations formelles qu'il parvient à engendrer toutes les classifications possibles d'objets de formes et de grandeurs différentes permettant d'atteindre un but donné (autant de grands que de carrés, pour une certaine collection d'objets) et à justifier pourquoi il y a tel ou tel nombre de solutions possibles (on a ici affaire à la capacité formelle d'engendrer l'ensemble des partitions possibles au sein d'un ensemble d'objets pouvant être distingués les uns des autres par un certain nombre de propriétés).

Deux mouvements très généraux caractérisent cette évolution des généralisations qui mène de leur forme inductive à leurs formes constructives : un mouvement de différenciation et d'intégration (qui se révélera aussi être au cœur des recherches sur l'évolution du possible et du nécessaire), et un passage de l'exogène à l'endogène. Des différenciations sont déjà imposées par l'expérience lors des généralisations inductives. Mais avec les généralisations constructives, ces différenciations deviennent des variations intrinsèques ou endogènes engendrées par le système cognitif en construction. Ainsi le concept de triangle contient, une fois construit, les propriétés permettant d'engendrer ou de concevoir les différentes sortes de triangles possibles. Les variations initialement constatées de l'extérieur peuvent être produites de l'intérieur par le système cognitif, en engendrant d'ailleurs autant de formes de triangles qu'il est possible d'en concevoir.

Le processus de passage de l'exogène à l'endogène se retrouve en ce qui concerne les intégrations caractérisant l'évolution des généralisations. Au début, les intégrations procèdent par simple coordination des résultats des différenciations mettant en

¹⁴² Il serait trop long de débattre ici de la question de ce qu'il faut entendre par « physique » ou « matériel ». Contentons-nous de rappeler que, pour Piaget, les actions du sujet ont une dimension matérielle. Mais, bien sûr, les lois que la psychologie pourrait être amené à découvrir en ce qui les concerne ne sauraient être considérées comme des lois physiques. On peut suspecter que la psychologie comme science pose un problème délicat quant à la détermination épistémologique de son objet (ce que révèle d'ailleurs la querelle, fondamentalement non résolue, entre un behaviorisme rigoureux et une psychologie qui laisse sa place à la « logique des significations » dans l'explication des comportements psychologiques).

¹⁴³ Plutôt que de parler de « réalités logico-mathématiques », on pourrait, avec Desanti, adopter la notion « d'idéalités mathématiques ».

¹⁴⁴ Nous reprenons ci-dessous, avec quelques modifications mineures, une partie d'un article publié dans un numéro spécial du Bulletin de psychologie consacré à Piaget (le présent ouvrage est une extension de cet article).



évidence de simples régularités empiriques (par exemple le sujet peut se contenter de classer les variations qu'il constate empiriquement). Mais ensuite, les intégrations deviennent « totalisantes », cela dans la mesure où le sujet a construit par synthèse ou complétion un nouveau système cognitif.

Ce qui précède suffit à suggérer l'enrichissement considérable apporté par la perspective constructiviste à l'ancienne conception de la généralisation, qui restait exclusivement basée sur la considération des phénomènes de généralisation inductive.

Rappelons enfin comment ces recherches sur la généralisation révèlent et permettent de résoudre un paradoxe apparent de la généralisation constructive qui paraît déroger à la loi, bien connue en logique classique, du rapport inverse entre extension et compréhension d'un concept (plus un concept est général, par exemple celui d'animal par rapport à celui de chien, moins il est riche en compréhension ; dans l'exemple, un chien est en effet un animal qui possède par ailleurs une liste de propriétés spéciales qui l'opposent aux autres animaux). Dans le cas de la généralisation constructive, la nouvelle structure ou le nouveau système cognitif résultant d'un tel processus est à la fois plus riche en compréhension et plus riche en extension (couvre plus de cas) que la (ou les) structure(s), ou le(s) système(s) qu'il généralise. Pour retrouver la loi classique, il convient de distinguer la structure des contenus sur lesquels elle porte. Ainsi, une structure de corps telle que celle des nombres rationnels est plus riche et puissante que la structure d'anneau caractéristique des nombres entiers relatifs. Par ailleurs, le corps des nombres rationnels comporte un plus grand nombre d'éléments que l'anneau des nombres relatifs (il contient ceux-ci, mais aussi des nombres tels que $3/2$). Mais si l'on considère les structures de corps indépendamment des éléments qu'elles composent entre eux, il y a moins de structures de corps que de structures d'anneau (car les premières sont une sous-classe des secondes).

Mais l'intérêt de ces travaux sur la généralisation tient avant tout dans l'attention primordiale portée par Piaget au processus constructif qui voit les connaissances des enfants s'enrichir de plus en plus, tant sur le plan de l'extension que de la compréhension. A bien des égards, ils annoncent ceux, à venir ou en cours, sur la double évolution du possible et du nécessaire, ainsi que ceux sur les correspondances et les morphismes.

En liaison avec le possible et le nécessaire, l'étude des généralisations insiste sur le caractère constamment ouvert des constructions cognitives, et cela en dépit du fait que l'équilibre atteint sur chaque palier est rendu possible par une intégration des possibles ou des différenciations au sein d'une totalité, c'est-à-dire une fermeture structurale au moins partielle. Mais, par la mise en évidence constante des rapports de filiation entre formes se succédant dans la psychogenèse des connaissances, les recherches sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation complétive n'ont pu qu'inciter Piaget à examiner à nouveau de plus près cette succession de formes, en portant une attention moins exclusive à la genèse des transformations opératoires, et en appliquant à cet examen les nouveaux outils comparatifs créés par les théories mathématiques des morphismes et des catégories.



b. Dialectique entre mises en correspondance et transformations

Avec celle sur la logique des significations, l'étude sur les correspondances, les morphismes et les catégories occupe une place un peu à part dans les recherches piagétiennes des années 70. Elle a son origine dans la tentative de mieux cerner les « préstructures » à l'œuvre dans l'intelligence préopératoire, c'est-à-dire chez les enfants entre 3 et 6 ans environ. Henri Wallon avait déjà en son temps mis en évidence l'importance de la notion de couple dans la pensée du jeune enfant, rejoignant ainsi ce que Piaget avait montré sur le terrain de la sériation logique (lorsqu'on leur demande de sérier des baguettes, ces enfants procèdent en composant des couples ou des trios d'éléments). Les études sur la fonction réalisées au CIEG vers la fin des années 60 ont confirmé cette façon d'établir des correspondances ou de les découvrir au sein du réel. Parallèlement à ces observations, Piaget, informé par ses collaborateurs mathématiciens et logiciens, ne pouvait pas manquer d'être intéressé par l'essor de la théorie des morphismes, puis des catégories, sur le terrain de la science mathématique. La logique même du constructivisme devait le conduire à rechercher, par-delà les solutions psychologiques et épistémologiques que la découverte des structures opératoires avait apportées à la double question de la nature de l'intelligence humaine et de l'origine des connaissances rationnelles, des formes encore plus générales et profondément enfouies dans les conduites du sujet. Cette rencontre, non complètement fortuite, entre les percées de la science mathématique et les faits révélés sur le terrain de l'enquête sur les fonctions, est l'une des origines des travaux sur les correspondances réalisés au CIEG. Mais il faut y ajouter le lien hypothétique qui a pu être aussitôt pressenti entre ces nouveaux objets de la mathématique que sont les morphismes et les catégories et le résultat des recherches sur l'abstraction réfléchissante et la généralisation constructive. Confortant les anciennes découvertes sur la genèse des structures, ces travaux montraient comment des formes construites à un certain niveau de développement cognitif (relatif au traitement des qualités ou des quantités logiques, numériques, spatiales, temporelles ou physiques) sont reprises sur un niveau supérieur. Ayant pour objet privilégié les rapports de composition entre morphismes, et donc entre formes, la théorie mathématique des catégories s'imposait comme une candidate privilégiée au titre d'instrument d'explication ou de modélisation des filiations entre structures de l'intelligence (y compris les « préstructures », moins stables et plus pauvres en propriétés logico-mathématiques que celles obéissant aux lois de groupements ou de groupes)¹⁴⁵. Inversement, en décidant d'étudier l'évolution des correspondances et des morphismes, et même peut-être des premières catégories chez l'enfant, Piaget pouvait espérer confirmer sa thèse épistémologique centrale selon laquelle la science mathématique et ses objets les plus généraux trouvent leur origine dans les formes cognitives et biologiques de la vie.

Le bilan que l'on peut tirer des recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories n'est pas aussi net et « définitif » que celui, largement connu, consacré à la genèse des structures logico-mathématiques chez l'enfant. La notion de catégorie est beaucoup plus abstraite que celle de structure. Son usage en psychologie, et même celui de morphisme, n'est pas aussi évident que celui de la notion de structure. De plus, deux questions théoriques fondamentales tendent à se mélanger dans ces recherches : celle sur la genèse de la réalité cognitive étudiée (ici les correspondances, les morphismes et les catégories), et celle sur les processus de construction. Des notions « semi-théoriques » sont découvertes dans le contexte des analyses des conduites ou des réponses des enfants, que Piaget n'a pas eu le temps de bien clarifier



(correspondance ou morphisme intratransformationnel, intertransformationnel, ou cotransformationnel, protransformationnel, etc.). Tout ceci explique que, bien que le mouvement théorique accompli avec ces recherches soit à la fois logique et porteur d'une conception qui complète la théorie de l'intelligence opératoire, il est difficile de cerner avec précision les résultats obtenus.

Tentons néanmoins de rappeler brièvement ces résultats. Le premier, et le plus général, est la découverte de l'importance des activités comparatives et de mises en correspondance chez les enfants. Avant ces travaux, Piaget s'était essentiellement attaché à montrer le rôle crucial des opérations, transformatrices de leur objet, dans l'intelligence et la connaissance humaines. Avec ces travaux, il découvre comment la lecture de l'expérience ou la découverte des régularités empiriques occupe une place non négligeable dans l'acquisition des opérations transformatrices, même si celles-ci trouvent leur origine dans les actions et leurs coordinations. Si elles ne sont pas la source des opérations, les mises en correspondance et la découverte de relations au sein des objets sur lesquels porte l'activité du sujet peuvent faciliter leur construction. Avant de revenir sur ce point, qui concerne les rapports entre correspondances et transformations (ou opérations transformatrices de leurs objets, parmi lesquels il faut ranger les relations de différence intervenant, par exemple, dans une sériation), esquissons quelques-unes des étapes de l'évolution des correspondances, puis des morphismes. Cette esquisse doit être prise avec prudence, vu le caractère insuffisamment défini des notions proposées dans les recherches en question.

Les premières correspondances portent sur des objets, mis très globalement en relation les uns avec les autres (notamment du simple fait qu'ils sont assimilés à un même schème). C'est, par exemple, un visage mis en relation avec un autre visage, ou un nez avec un autre nez. Dans une deuxième étape, ces relations qui restent tout à fait globales entre objets sont à leur tour mises en correspondance les unes avec les autres. Telle relation de succession constatée à propos d'une expérience pourra être mise en relation avec telle autre relation de succession, se déroulant peut-être ultérieurement lors de la même expérience, ou au cours d'une autre. Piaget parlera à cet égard de « prémorphismes », dans la mesure où les ensembles de relations mis en correspondance sont instables, c'est-à-dire varient au gré des circonstances. Lors de l'étape suivante, des rapports entre de tels prémorphismes peuvent être établis. Enfin, les prémorphismes deviendront morphismes lorsque l'acquisition des transformations opératoires permettra des mises en relation stables entre les états mis en correspondance. Cette dernière étape verra aussi apparaître des compositions de morphismes dont la stabilisation finale donnera lieu à l'apparition de « catégories spéciales » chez le sujet, c'est-à-dire à la capacité de relier opératoirement entre eux des morphismes appartenant à une même famille, de manière à la fois ouverte et réglée (exemple d'une telle catégorie : les rapports de parenté tels qu'ils peuvent être pensés à la fin du stade concret ou au stade formel).

Aussi lacunaire soit-elle, la tentative précédente de reconstruction de l'évolution des correspondances révèle le rôle joué par le développement parallèle des opérations dans celle-ci. Les relations entre ces deux évolutions passent d'ailleurs elles aussi par une série d'étapes. La première est celle des correspondances prétransformationnelles. A ce niveau, le sujet réalise déjà des transformations (préopératoires) des objets. Ce faisant, il engendre des états qu'il peut alors mettre en relation d'une manière qui reste tout empirique. Lors d'une deuxième étape, les correspondances se font intertransformationnelles. Le sujet relie cette fois de manière plus stable une transforma-



tion et les états qu'elle engendre. Enfin viennent les correspondances cotransformationnelles. Les transformations et les états sont reliés de manière tout à fait stable et complète. On est ici au niveau des morphismes et des compositions réglées de morphismes (par exemple, les poids de plus en plus grands d'un système de balance mis en relation avec les distances de plus en plus petites par rapport à l'axe de la balance).

Ces trois étapes révèlent comment le rapport entre correspondances et transformations se renverse au cours de cette double évolution. Lors des correspondances prétransformationnelles, bien que le sujet transforme les objets qu'il considère, son attention est fortement centrée sur les résultats de ces transformations (on retrouve ici le constat fait dans les recherches sur la prise de conscience). Mais ces mises en relation peuvent faciliter la prise de conscience des transformations encore mal coordonnées et aboutir à de premières mises en relation, encore tout empiriques, entre ces transformations. Lors des correspondances intertransformationnelles, la mise en relation des états et des transformations se fait plus systématique, et le sujet parvient progressivement à régler l'engendrement des premiers au moyen des secondes. Enfin, dans le cas des correspondances cotransformationnelles, celles-ci résultent de la maîtrise des transformations opératoires, organisées en structure.

Aussi imprécises soient-elles, les nombreuses observations et remarques portant sur cette dialectique des correspondances et des transformations sont l'indice le plus clair que cette recherche ne vise pas seulement à clarifier les notions de correspondance et de morphisme, mais également à mieux cerner les mécanismes de construction des systèmes cognitifs (c'est-à-dire des compétences morphismiques et opératoires des sujets).

c. Le possible et le nécessaire : recherches sur l'évolution créatrice et intégratrice des connaissances et de l'intelligence

Avec le chapitre sur l'évolution du possible et du nécessaire, on aborde les travaux peut-être les plus vigoureusement engagés par Piaget pour saisir la création de nouveautés, thème qui est devenu au fil des années l'objet central du constructivisme, aux côtés de l'abstraction réfléchissante. Par l'importance qu'ils accordent à l'équilibre entre le caractère différenciateur propre à l'évolution des possibles et le caractère intégrateur propre à l'évolution du nécessaire, ces travaux amplifient assez directement l'esprit des recherches sur la généralisation constructive, non seulement en insistant sur le caractère créateur du développement intellectuel, mais aussi en « psychologisant » d'une certaine façon la notion de sujet épistémique¹⁴⁶.

Les niveaux d'évolution des possibles.— On retrouve dans toutes les enquêtes une succession à peu près similaire d'étapes, qui se laisse caractériser soit d'un point de

¹⁴⁵ Le fait que des tentatives soient aujourd'hui encore poursuivies dans ce sens par des chercheurs en science cognitive et en intelligence artificielle montre que cette idée d'utiliser la théorie mathématique des catégories comme instrument de modélisation de l'évolution cognitive conserve son attractivité, même si, d'un point de vue psychologique, elle paraît un peu trop abstraite pour apporter à elle seule le moyen de mieux comprendre les constructions cognitives du sujet.



vue fonctionnel (lié au fait que l'on a affaire à des résolutions de problèmes), soit d'un point de vue structural.

Du point de vue fonctionnel, on trouverait d'abord une forme de possible qualifiée d'hypothétique, dans lequel le sujet, plongé dans une certaine activité, découvre en tâtonnant quelques solutions, quelques idées ou quelques actions possibles entre lesquels il ne sait choisir (pour résoudre un problème par exemple) ; puis apparaît le possible actualisable, celui retenu par le sujet après expérience ; ensuite, le possible déductible (qui échappe aux sujets les plus jeunes) ; et enfin le possible exigible, lorsque le sujet sait qu'il y a des solutions possibles, mais sans encore trouver le moyen de les produire (ou encore sans qu'il éprouve le besoin de tous les découvrir). Mais d'autres distinctions sont proposées, par exemple celle opposant le possible instrumental (« que puis-je faire dans telle ou telle situation ? ») et le possible physique (« qu'est-ce que les objets que j'utilise me permettent de faire ? »), ou encore la simple recherche de solutions possibles par rapport à celle de solutions optimales.

Quant au point de vue structural, après une première étape dans laquelle le possible tend à se confondre avec le réel apparent, Piaget distingue le possible engendré de proche en proche « par successions analogiques », le co-possible concret (anticipation simultanée de plusieurs possibles), le co-possible abstrait « où les actualisations ne sont que des exemples parmi ' beaucoup ' d'autres concevables » (p. 10), et enfin le co-possible « quelconque » ou en nombre illimité. Par « possibles analogiques », il faut entendre que le sujet conçoit un nouveau possible à partir d'un précédent déjà actualisé ou d'un simple constat, qui lui suggère une nouvelle idée d'un but à réaliser ou d'une action à accomplir (par exemple, voulant d'abord construire une maison sur pilotis pour protéger les sacs de blés, un jeune enfant changera d'idée parce que la tâche s'avère trop complexe et tirera sa nouvelle idée de tel ou tel résultat auquel il est involontairement parvenu). Quant aux co-possibles, il s'agit, comme le terme le laisse entendre, des solutions possibles simultanées que le sujet peut se donner à partir de sa maîtrise des variations intrinsèques lui permettant d'enchaîner déductivement ces solutions les unes aux autres (par exemple varier la forme d'un triangle en considérant la variation des angles).

On notera que, contrairement aux autres recherches, il n'est jamais question de stades, mais seulement de niveaux dans cette étude de l'évolution des possibles. Ceci tient à cette double manière à la fois fonctionnelle et structurale de considérer les conduites des sujets. On observera d'ailleurs que le point de vue structural lui-même fait intervenir des distinctions qui sont en fait fonctionnelles (par exemple le passage des co-possibles concrets aux co-possibles abstraits). Ce ne serait donc qu'en indexant l'évolution du possible sur celle des opérations qu'une succession régulière avec emboîtement des solutions les unes dans les autres pourrait être observée, ce qui permettrait alors d'utiliser la notion de stade. Mais cela ne se ferait pas sans perte d'information quant au fonctionnement de la pensée dans son utilisation du possible, c'est-à-dire précisément ce qui intéresse avant tout l'auteur dans ces recherches.



On relèvera aussi que, dans ses analyses, Piaget suit de près l'inventivité dont le sujet fait preuve, de façon plus ou moins prolifique, dans sa conception de nouveaux possibles. Ce foisonnement des possibles, qu'il résulte des procédures analogiques successivement utilisées chez les sujets les plus jeunes, ou encore des multiples variations intrinsèques plus ou moins hétérogènes qu'un enfant de niveau opératoire peut concevoir par rapport à un matériel ou un but donné, se traduit par des exposés de résultats qu'il est beaucoup plus difficile de résumer par des cas prototypiques que cela n'est le cas pour les études classiques sur le développement des notions chez l'enfant. Ceci est certes fâcheux pour la théorie, puisqu'il n'est pas possible de modéliser avec économie ce développement beaucoup plus anarchique (en cela ces recherches se rapprochent des travaux sur les résolutions de problèmes). Mais d'un autre côté, cette quasi-impossibilité de résumer synthétiquement les résultats des différentes enquêtes sur l'évolution du possible apporte une information positive sur la richesse du fonctionnement intellectuel de la pensée d'enfants confrontés à des tâches très banales.

Parmi les quelques constats généraux que l'on peut faire en ce qui concerne cette évolution des possibles, mentionnons encore celui qui concerne les sujets de niveau I (c'est-à-dire ces sujets pour qui le possible se confond avec le réel apparent, ou alors ceux qui utilisent de manière dominante l'analogie pour passer d'un possible à l'autre). A ce niveau, on constate un grand nombre de « pseudo-nécessités » empêchant les enfants de suggérer des solutions qui leur paraîtront évidentes dès qu'ils auront atteint l'étape correspondant à l'acquisition de nouvelles opérations logico-mathématiques. Par exemple, lorsqu'on demande à de jeunes enfants de dessiner la partie cachée d'un objet, ils se refuseront à utiliser une autre couleur ou une autre forme que celle perçue, et ils répondront par la négative à la question de savoir si cette partie pourrait être d'une autre couleur que celle qu'ils lui ont donnée.

L'évolution du nécessaire et les rapports entre le réel, le possible et le nécessaire.— Les résultats de l'étude sur l'évolution du nécessaire sont plus faciles à résumer que ceux sur l'évolution du possible. Bien que considérées également d'un point de vue « génético-fonctionnel », par opposition au point de vue « génético-structural » des études classiques sur le développement des notions et des opérations, les études sur le nécessaire rejoignent en quelque sorte ces dernières pour la bonne raison que le processus de « nécessitation » qui mène à la découverte des vraies nécessités est directement lié à cet effort de fermeture ou d'intégration des co-possibles qui conduit aux structures opératoires. En ce qui concerne tout d'abord les étapes de cette évolution du nécessaire, Piaget distingue là aussi deux points de vue, l'un fonctionnel et l'autre structural. Du point de vue fonctionnel, on peut constater trois paliers : 1. une détermination des conditions nécessaires, puis nécessaires et suffisantes, à un « fait » (physique ou logico-mathématique), 2. l'approfondissement des conditions nécessaires et suffisantes par la recherche de leurs raisons (on « remonte » la chaîne

¹⁴⁶ Comme pour les recherches sur la généralisation, le bilan que nous faisons des travaux sur la double évolution du possible et du nécessaire et de leurs rapports est largement tiré de l'article publié dans le Bulletin de psychologie (Ducret, 1998).



des nécessités), et enfin 3. un processus d'amplification qui consiste à découvrir les conséquences nécessaires d'un lien nécessaire établi entre deux ou plusieurs « faits » (on « descend » la chaîne des nécessités). En ce qui concerne le point de vue structural, les choses sont encore plus simples à résumer. Les différentes nécessités rencontrées dans les recherches sont caractérisées par une « force » variable. Plus une structure opératoire contient de relations internes et de liens inférentiels entre ces éléments, plus forte est la nécessité attachée à ces relations. Par exemple les nécessités attachées aux opérations et aux notions numériques sont plus fortes que celles attachées aux opérations et aux notions de classes et de relations logiques.

Trois autres constats généraux sont établis par Piaget à propos des recherches sur la nécessité. Le premier est épistémologique : la nécessité véritable ne trouve jamais sa source dans la lecture des faits, mais exclusivement dans les coordinations inférentielles attachées aux structures opératoires. Le deuxième concerne le moteur du processus de nécessitation (c'est-à-dire de la recherche du nécessaire par le sujet). Il tiendrait pour l'essentiel dans une sorte de maxime que l'auteur résume dans les termes suivants : « il est nécessaire qu'il y ait des nécessités » (p. 165). Ceci est le pendant de cette autre formule implicite attribuée aux sujets dans l'évolution des possibles, du moins à partir d'une certaine étape de cette évolution : « il est possible qu'il y ait des solutions (possibles) ». Enfin un troisième constat rejoint celui déjà fait à propos de l'évolution du possible. On trouve chez les sujets les plus jeunes de nombreuses confusions entre le réel, le possible et le nécessaire, ces confusions réciproques se traduisant par des empêchements mutuels apportés à l'évolution du possible et à celle du nécessaire (le réel objectif est, quant à lui, rejoint lorsqu'il y a coordination et non plus confusion entre le possible et le nécessaire).

L'évolution du possible et du nécessaire en rapport avec le développement opératoire.— Les faits recueillis tant pour l'évolution du possible que celle du nécessaire montrent à l'évidence le parallélisme étroit non seulement de ces deux évolutions, mais aussi de celles-ci avec le développement des opérations. Dès lors la question se pose de savoir si c'est ce dernier développement qui explique la double évolution du possible et du nécessaire, ou si, inversement, ce n'est pas celle-ci qui rend raison de l'apparition des opérations (notons l'absence curieuse de formulation d'un de ces tertium dont Piaget est généralement très friand). A priori, et en tenant compte aussi bien des anciennes considérations sur les possibles faites dans les années 50 que des réponses apportées à des questions similaires sur les rapports entre la genèse des opérations et celle de l'image, par exemple, on aurait pu s'attendre à ce que l'auteur attribue la primauté au développement des opérations. Or la réponse qu'il propose est précisément l'inverse : c'est du « magma relationnel [d'où] naissent les possibles » (I, p. 120) que surgiraient progressivement les opérations. Il n'est pas possible de rapporter les multiples arguments donnés par l'auteur pour justifier cette thèse. Mais le point principal est certainement celui-là. Les opérations ne caractérisent que très partiellement le fonctionnement de la pensée. Lorsque celle-ci est confrontée à des tâches normales, elle utilise à des degrés divers les analogies et les coordinations inférentielles pour produire des possibles qu'elle soumet alors à un tri. Bien sûr elle cherche à trouver, parmi ce magma, des cohérences, des zones de stabilité, sans lesquelles elle se perd.



Mais ces zones de nécessités, qu'elle finira par atteindre, ne sont jamais que des îlots, certes importants. C'est donc parce que le fonctionnement opératoire est encadré par un fonctionnement des possibles qui le dépasse généralement (sauf sur les points où, grâce aux opérations, le sujet parvient à déduire des possibles en nombre limité puis illimité) que l'évolution des possibles et le processus de nécessitation qui la complète fournissent le grand « fleuve » dans le flux duquel se construisent progressivement les structures opératoires, grâce à des mécanismes tels que ceux de l'abstraction réfléchissante et des généralisations constructives.

Mais, s'il ne faut pas attendre l'opératoire pour que surgissent le possible et le mouvement de nécessitation qui l'accompagne, il faut donc trouver ailleurs le principe explicatif de cette double évolution du possible et du nécessaire. Pour le découvrir il faut, nous dit Piaget, prendre de la hauteur, et embrasser d'un seul « regard » le flux évolutif. C'est alors que devient visible, au premier plan, l'une des grandes formes du mécanisme général de l'équilibration majorante, celle qui met en relation le jeu des différenciations et des intégrations qui rythment l'évolution cognitive. Tout nouveau possible conduit forcément à différencier le système cognitif au sein duquel cette acquisition est apparue. Mais ce mouvement de différenciation étroitement associé à la constitution de nouveaux possibles par un sujet toujours en devenir s'accompagne du besoin inverse d'intégrer ces différenciations, qui sinon font exploser l'unicité du sujet, un besoin d'intégrer qui devient soit de nécessité à partir d'une certaine étape de cette évolution.

Conclusions. – Il reste à considérer deux points, tout aussi étonnants que le rôle majeur attribué à l'évolution du possible dans l'évolution de l'intelligence et des connaissances enfantines. Le premier concerne le rapport entre sujet épistémique et sujet psychologique, que l'examen des relations entre l'évolution des possibles et l'évolution des opérations éclaire d'un jour nouveau. Le second concerne le rôle des significations, qui viennent alors occuper le devant de la scène, et cela pour la bonne raison que le possible auquel s'intéresse l'auteur n'est pas ce qui est psychologiquement possible du point de vue du psychologue, mais le possible tel que l'imagine ou le conçoit le sujet. Ce possible – comme d'ailleurs le nécessaire qui l'accompagne – est alors forcément composé des significations engendrées par l'activité intellectuelle de ce sujet : celui-ci imagine comme possible une solution à un problème, un moyen permettant d'atteindre peut-être un but, un état ou une transformation du réel, etc. Dès lors, vu le rôle accordé à l'invention des possibles dans les constructions cognitives, on comprend l'urgence qu'il y aura pour Piaget de jeter les bases d'une logique des significations susceptible de caractériser ou de modéliser les processus de pensée – implications significatives et autres coordinations inférentielles – au moyen desquels le sujet procède à cette invention.

Quant à la question des rapports entre sujet épistémique et sujet psychologique, il suffit de souligner que le dernier paragraphe du livre consacré à l'évolution des possibles réunit pour la première fois ces deux sujets, alors que jusqu'à cette recherche Piaget avait tendance à refuser de considérer l'intervention du sujet psychologique dans l'explication du développement des connaissances objectives chez l'enfant.



C'est à travers les procédures d'un sujet psychologique éprouvant des besoins et doté de pouvoirs particuliers, dépendant de son histoire personnelle, que se réalisent le processus de rééquilibration majorante et les activités structurantes et organisatrices du sujet épistémique.

d. Dialectique et logique des significations

Avec ce dernier ensemble de recherches, portant l'une sur les formes élémentaires de la dialectique et l'autre sur la logique des significations, nous abordons le tout dernier chapitre de l'œuvre de Piaget. Ce chapitre n'a pu être conduit à son terme dans la mesure où non seulement l'auteur n'a pu faire autre chose qu'esquisser une telle logique, mais aussi où il n'a pas pu diriger l'ultime programme d'étude qu'il avait proposé à ses collaborateurs du CIEG pour l'année 1979-80. Consacré au thème de l'évolution des raisons, cet ultime programme s'inscrivait pourtant en continuité avec les précédents travaux. Premièrement, en effet, ce thème est sans cesse présent dans ceux-ci, dans la mesure où il y est souvent question de l'activité de recherche des raisons qui caractérise les enfants d'un certain niveau, par exemple lorsqu'ils sont confrontés à un fait ou lorsqu'ils découvrent la solution d'un problème. Deuxièmement, cette recherche des raisons y apparaît comme l'un des moteurs centraux du développement cognitif (et cela dès les ouvrages Réussir et comprendre et Recherches sur la contradiction). Troisièmement et enfin, le thème des raisons repose sur la même attention théorique prêtée par Piaget à ce qui relève des significations et de leur traitement logique dans les conduites du sujet.

En relation étroite avec la notion de conscience, celle de signification, qui est pour la première fois abordée de front dans les études sur la dialectique et sur la logique des significations, a de tout temps été centrale à la psychologie de Piaget. Elle définit en effet l'objet même de sa psychologie, aux côtés de la notion de comportement ou d'action. Lorsqu'un sujet assimile un certain objet à un schème, par exemple celui de la succion, il lui attribue du même coup une signification, en l'occurrence celle d'être un « objet à sucer ».

D'un autre côté, la psychologie génétique se veut essentiellement objective dans son approche des faits psychologiques. Cela signifie que son objet d'étude apparaît d'abord comme composé de phénomènes, c'est-à-dire d'observables. Ce que le psychologue généticien observe, ce sont des actions du sujet, y compris des réponses, des jugements, des raisonnements, considérés sous l'angle du comportement, même si, par ailleurs, il n'ignore pas que l'action d'un enfant, ses affirmations, ses négations, etc., font sens pour lui.

Dans son ascétisme philosophique et son rigorisme méthodologique, le behaviorisme (le comportementalisme) s'était efforcé d'épurer la psychologie scientifique de toute évocation de ces notions que sont la conscience et la signification. Pendant longtemps, Piaget fut loin d'être insensible à cet ascétisme et à ce rigorisme, et il s'efforça le plus souvent d'écarter soigneusement ces deux notions des théories explicites qu'il proposait de la construction des connaissances chez l'enfant et dans la science (la notion de signification occupe cependant une place de choix dans les recherches des années 30 sur l'intelligence sensori-motrice et sur le début de la fonction sémiotique). L'importance alors accordée à la notion d'action permettait de réaliser une telle mise entre parenthèses. D'ailleurs, lorsque initialisant le cycle des travaux sur les



mécanismes de construction, Piaget en arrivera à s'interroger sur la prise de conscience chez l'enfant, il ne manquera pas d'insister sur le fait que celle-ci est d'abord une action, qui peut être observée chez l'enfant.

Cette mise en évidence du rôle central de l'action ou du comportement dans la définition même de l'objet de la psychologie répondait au même souci de positivité que celui qui habitait les behavioristes. Pourtant, la mise entre parenthèses méthodologique de la conscience et de la signification n'a jamais signifié pour Piaget leur rejet théorique. La signification n'a jamais cessé d'être présente, liée par exemple aux notions de schème et d'assimilation ; mais elle est durablement restée à l'arrière-plan. De plus, cette mise entre parenthèses méthodologique est plus apparente que réelle : le psychologue généticien, qui recueille, examine et classe les réponses des enfants, tient compte en fait de la signification de ces réponses dans son analyse. Il ne se contente pas de rester à la surface, pour ainsi dire, des énoncés ou des actions des sujets. Il les interprète, leur donne sens en espérant que ce sens rejoint celui que les sujets leur attribuent eux-mêmes. Lorsqu'un enfant rassemble d'une certaine manière des baguettes pour en extraire la plus grande, ce « pour en extraire la plus grande » est un projet effectivement attribué au sujet par le psychologue, et un projet qui donne sens à l'action observée non seulement pour l'adulte qui l'interprète, mais d'abord pour le sujet lui-même.

Si pendant longtemps, et au moins en apparence, Piaget a pu laisser en arrière-plan la question du rôle des significations dans l'activité psychologique du sujet, les recherches sur les mécanismes de construction vont le conduire à renverser la perspective. On peut trouver deux raisons à ce renversement, l'une externe et l'autre interne. Du point de vue externe, on notera que dès les années 60 le behaviorisme ne domine plus la psychologie scientifique, en particulier américaine, et doit laisser place à un paradigme « cognitiviste » qui autorise à nouveau le psychologue à parler explicitement de conscience, de pensée, etc.¹⁴⁷ Quant à la deuxième raison, interne, elle tient au fait que Piaget n'a plus pour objet prioritaire de décrire des structures (ce qui peut se faire en laissant en arrière-plan les significations), mais le fonctionnement intellectuel, les processus par lesquels un sujet en arrive à transformer ses actions et à enrichir ses connaissances. Aussitôt que l'on ne se contente plus d'une notion générale d'abstraction réfléchissante, mais que l'on examine dans le détail ce qui se passe chez un sujet confronté à un problème, ce qui vient au premier plan, au même niveau que ses actions, ses affirmations, etc., en tant que recueillies de l'extérieur, ce sont les significations qu'il accorde aux objets et à ses propres actions, et ce sont les rapports entre ces significations, ou ce qu'il peut en déduire. A titre d'illustration de ce tournant majeur et constatable à travers les recherches de la dernière décennie, on soulignera, par exemple, comment la notion de coordination inférentielle en vient à prendre place aux côtés de celle de coordination des actions dans l'explication des constructions cognitives. C'est ce mouvement qui viennent finalement sanctionner les recherches sur les formes élémentaires de la dialectique, puis l'esquisse d'une logique des significations complémentaire de la logique des opérations. Rapportons ici le bref bilan, à peine retouché, de ces deux ensembles de recherche (Ducret, 1998).

Les formes élémentaires de la dialectique.— Ces recherches aboutissent à deux résultats principaux. Le premier concerne une précision apportée par Piaget au rôle et à la nature des contradictions tels qu'ils avaient été mis en évidence en 1970-71. Le second concerne la nature des processus de dépassement dialectique, et la définition même de la notion de dialectique.



En ce qui concerne les contradictions, l'auteur observe qu'elles ne sont pas toujours nécessaires à l'apparition d'un mouvement de dépassement dialectique (il reprend l'exemple de la fusion entre classes et relations logiques, qui donne naissance au nombre sans qu'intervienne aucune contradiction). D'autre part, il précise que les contradictions que l'on observe sur le plan de la pensée préopératoire ne peuvent pas être inhérentes à l'action en tant que telle. Les actions peuvent être contraires les unes aux autres, mais non pas contradictoires entre elles (sinon pour le sujet qui les considère). Dès lors il ne peut pas y avoir non plus de contradiction sur le plan des implications entre actions (bien que le sujet puisse établir de fausses implications entre actions). La contradiction n'intervient que sur le plan de la signification (le sujet qui attribue faussement telle ou telle signification à une action).

Quant à la dialectique, Piaget la considère comme étant l'aspect inférentiel de l'équilibration. Elle se joue donc elle aussi sur le plan des significations, plan qui se subdivise en deux selon que l'on considère le niveau des implications entre actions ou celui, supérieur, des concepts, des jugements et des raisonnements.

Reprenons, à titre d'exemple d'une fausse implication entre actions, celui de l'enfant qui, pour égaliser numériquement deux collections inégales d'éléments, leur ajoute le même nombre d'éléments. Ajouter un même nombre d'éléments impliquerait donc, pour ce sujet, l'égalisation de deux collections initialement inégales. Le dépassement des problèmes créés par de telles fausses implications se fera par une « dialectisation entre additions et soustractions » (Les formes élémentaires de la dialectique, p. 53). En ce qui concerne les dépassements dialectiques se produisant sur le plan conceptuel, on a vu que tout le premier chapitre de l'ouvrage est consacré aux cercles dialectiques unissant l'évolution des prédicats, des concepts (composés de prédicats), des jugements et des raisonnements, dans une tâche telle que celle de savoir quel est l'animal choisi par l'expérimentateur parmi une vingtaine d'images d'animaux. Ce n'est que lorsque le sujet sait construire non seulement les emboîtements entre sous-classes, mais aussi les « inhérences entre significations qui s'englobent en compréhension » (id., p. 22) qu'il parvient à formuler et à enchaîner ses questions pour découvrir la solution de manière opératoire.

Quant aux processus de dépassement, l'auteur croit pouvoir en trouver au moins huit formes différentes parmi les réponses des enfants. Toutes consistent à établir des rapports d'interdépendance entre des systèmes qui peuvent être simplement étrangers et non pas forcément opposés l'un à l'autre au départ. Rappelons-en seulement trois. La première consiste en l'enrichissement mutuel des sous-systèmes mis en relation d'interdépendances (exemple : l'enrichissement mutuel des prédicats, des concepts, des jugements et des raisonnements dans la résolution de la tâche décrite plus haut). La seconde forme est celle des interdépendances assurant la conservation d'une quantité par le jeu des compensations entre sous-systèmes de la totalité considérée. Enfin, la troisième est la coordination des sous-systèmes au sein d'un système les totalisant (par exemple la coordination des points de vue). Cette mise en relations de systèmes ou de sous-systèmes n'est pas une abstraction, mais un ensemble d'activités intellectuelles par lesquelles le sujet classe les observables en présence, unit les significations les unes aux autres, trace progressivement la frontière d'un ensemble d'éléments, précise la signification d'un observable, etc. C'est du moins ce que l'on peut découvrir au fil des analyses partielles de protocoles que l'on peut découvrir au fil des chapitres dans lesquels sont rapportés les résultats des enquêtes.



Enfin, notons que le constat établi à propos du caractère général ou non de la contradiction fonctionnelle s'applique aussi à la dialectique. Les processus de dépassement ne concernent pas l'ensemble des processus cognitifs. En période d'équilibre, il peut y avoir des constructions discursives de connaissances sans dépassement dialectique. Pour éviter tout malentendu, il faut pourtant rappeler que la notion de période d'équilibre ne doit jamais être appliquée dans l'abstrait. De telles périodes n'existent que relativement à une matière donnée (un sous-chapitre de l'acquisition des notions mathématiques, par exemple).

Cela dit, si l'on compare les recherches sur les formes élémentaires de la dialectique à celles de 1970-71 sur la contradiction, on constate que le déplacement de perspective esquissé dans celles-ci devient dès lors tout à fait explicite. Tout en conservant en arrière-plan l'acquis des recherches sur le développement opératoire, et donc sur l'importance des actions et des opérations dans le fonctionnement de l'intelligence et le développement des notions « épistémiques » (le temps, l'espace, le nombre, etc.), Piaget porte maintenant toute son attention sur le fonctionnement intellectuel lui-même, c'est-à-dire sur des activités agissant sur des significations (voir par exemple plus haut la notion « d'inhérence » entre « significations qui s'englobent en compréhension »). Tout ce qui est de l'ordre du traitement préopératoire ou opératoire des quantités logico-mathématiques et physiques est bien capturé par les anciens modèles construits entre 1935 et 1955 environ. Mais pour cerner ces opérations sur les significations qui accompagnent le développement des opérations sur les objets, il devient nécessaire à la fois d'étudier de plus près les opérations de cette logique des significations à l'œuvre chez le sujet, notamment avant l'apparition de l'intelligence opératoire (au sens classique du terme), et de construire de nouveaux instruments de modélisation. C'est cette tâche qu'esquisse l'étude sur la logique des significations.

Vers une logique des significations.– L'examen des recherches sur la prise de conscience, l'abstraction réfléchissante, l'évolution du possible, etc., révèle l'importance accordée aux notions d'implication signifiante et de coordination inférentielle dans l'analyse et l'explication des conduites de construction cognitive. Certes l'auteur n'abandonne pas du tout la thèse du caractère fondateur et explicatif de l'action et des opérations dans la genèse de l'intelligence sensori-motrice, puis représentative. Mais le fait que, comme cela a été soutenu précédemment, il ne soit plus possible de laisser entre parenthèses la question des significations prêtées par le sujet à ses actions et opérations, comme aux objets sur lesquels il porte son attention, a une conséquence immédiate en ce qui concerne l'étude de la logique du sujet. Piaget se voit contraint de « compléter et de corriger la logique opératoire dans le sens d'une logique des significations » (p. 11).

La méthode psychogénétique est dès lors de nouveau mise à contribution pour apporter un certain nombre de clarifications, notamment au sujet de la « signification des significations », ou encore sur la signification des notions d'implication signifiante et d'implication entre actions. Elle livre également quelques informations précieuses en ce qui concerne la nature des négations, des conjonctions, des disjonctions, etc., lorsque ces opérations sont considérées non pas seulement sous l'angle extensionnel, mais aussi et surtout sous l'angle « intensionnel », c'est-à-dire en tant qu'agissant sur des significations (attachées aux actions du sujet et aux objets de ces actions). L'ex-

¹⁴⁷ Au sujet de la révolution cognitiviste qu'a connue la psychologie anglo-américaine dans les années 50 et 60, voir Ducret (1996).



posé des résultats apporte ainsi des indications sur ce que peuvent être les négations, les disjonctions, etc., à différentes étapes du développement cognitif (y compris à l'étape de l'intelligence sensori-motrice).

En plus des clarifications de notions et de l'exposé des résultats concernant les étapes des opérateurs logiques (négation, disjonction, incompatibilité, etc.) considérés sous l'angle intensionnel, mentionnons encore le caractère précurseur des opérateurs logiques trouvés chez les jeunes sujets par rapport aux opérateurs binaires de la logique des propositions. L'implication, la conjonction, la négation, la disjonction non exclusive, etc., bref les seize opérateurs de cette logique des propositions dont Piaget avait décrit la structure d'ensemble dans son *Essai de logistique opératoire* (1^e éd. 1949), ont tous des précurseurs dans le traitement logique des significations, et plusieurs sont déjà présents dès le plan de l'intelligence sensori-motrice. Bien sûr, des différences plus ou moins essentielles les séparent. Notons-en deux. D'abord, à tout opérateur propositionnel peuvent correspondre plusieurs opérateurs élémentaires (dans la mesure où la signification de l'opérateur élémentaire varie en fonction du contexte dans lequel le sujet relie les significations en jeu). Par exemple, à l'incompatibilité logique pourront correspondre des incompatibilités dites « intraobjectales », « interobjectales » ou encore « totales » (selon que le sujet considère un objet et ses parties possibles, les parties de différents objets ou encore des éléments de la réalité qui paraissent ne pouvoir composer aucun objet). De même, les réponses des enfants révèlent l'existence de degrés variés de négations (des négations plus ou moins proximales ou plus ou moins distales, selon que l'objet d'ensemble ou la classe d'objets sont plus ou moins pertinents par rapport à la réalité considérée). Mais surtout, les opérateurs élémentaires caractéristiques des premières étapes du traitement logique des significations (attachées aux actions et aux objets) ne sont jamais regroupés en structures fermées, bien qu'il puisse y avoir des « fragments de structures », en d'autres termes des regroupements partiels et instables d'opérateurs.

Finalement, soulignons-le encore une fois, Vers une logique des significations n'est qu'une première esquisse de réalisation d'un projet ambitieux. Bien d'autres recherches devraient être réalisées pour couvrir le nouveau domaine d'étude ouvert par Piaget et Garcia, et surtout aucune modélisation d'envergure n'a été réalisée quant à cette « logique des significations » à l'œuvre chez le sujet dès l'année qui suit sa naissance. A ce jour, nous ne savons d'ailleurs toujours pas si une modélisation théorique aussi satisfaisante que celle portant sur les opérations logiques en leur aspect extensionnel est possible, vu le caractère fortement fonctionnel et peu stable de la logique des significations, sauf naturellement quand elle porte sur des problèmes classiques de logique opératoire.

e. Remarques finales

Dans notre introduction, nous avons utilisé l'analogie de la carte géographique pour éclairer le sens de cet ouvrage. Au terme de ce parcours à travers les onze dernières années de recherche, deux images voisines, très directement inspirées de l'œuvre et de la vie de Piaget, nous viennent à l'esprit pour exprimer notre sentiment général. La première image est celle des chemins de montagne, la seconde, celle de l'évolution créatrice.



Lorsque nous marchons en montagne, il arrive que nous découvriions un sentier sur lequel nous pouvons progresser d'un pas assuré, tant le sol a été foulé par les pas des promeneurs qui nous ont précédés. Puis tout à coup ce sentier paraît s'effacer, seules subsistant d'incertaines traces sur lesquelles nous avançons avec hésitation et crainte de nous égarer. Le plus souvent pourtant, après avoir emprunté l'une ou l'autre de ces traces, nous retrouvons, quelques centaines de mètres plus loin le chemin un moment perdu de vue.

La deuxième métaphore, celle de l'évolution créatrice, complète la première. L'histoire naturelle et la biologie de l'évolution ont amplement démontré l'exceptionnelle fécondité du vivant, qui engendre des formes à l'infini, toutes différentes ou presque. Mais dans cette profusion de formes, on trouve aussi bien de l'informe ou du chaotique que de l'harmonie et de l'ordre.

Ces deux images reflètent assez bien cette dernière décennie de recherches et notre essai de la saisir comme un tout. Plus que pendant toute autre période de son œuvre, Piaget n'a cessé de présenter de nouveaux faits, de nouvelles notions, mais de manière si touffue que nous peinons parfois à dégager une ligne de force. Assez souvent au cours de nos lectures et relectures des onze ouvrages, nous avons eu, dès lors, ce sentiment d'être perdu, d'errer, comme sur un chemin qui s'efface, au gré de propositions dont il nous semblait qu'elles ne menaient nulle part. Mais heureusement, au détour d'un chapitre, une ou quelques pages particulièrement lumineuses, exposant une analyse très fine des conduites des enfants, ou esquissant une synthèse particulièrement claire et ordonnée des résultats jusqu'alors décrits, nous rassuraient, donnant sens à la visée et à l'effort théorique de l'auteur.

Pour le dire d'une autre façon, des recherches classiques à celles de la dernière période, on passe d'une œuvre qui, par les résultats qu'elle expose, présente tous les caractères d'une progression lamarckienne, dans laquelle les formes se succèdent les unes aux autres d'une manière toute logique et ordonnée, à une œuvre qui prend le caractère touffu d'une évolution darwinienne, où les indices d'un progrès général sont bien moins évidents¹⁴⁸. Pourtant, c'est seulement en gardant à l'esprit ces deux moments de l'œuvre piagétienne que l'on peut être assuré de saisir au mieux à la fois son sens et la conception qu'elle propose des connaissances, de l'intelligence et de leur construction.

Cette profusion des travaux des années 70, où il est parfois si difficile de se retrouver, est le résultat de différents facteurs. Certains ont trait à l'objet d'étude, d'autres à la démarche du chercheur. A commencer par cette dernière, un point doit être relevé : la pression du temps. Cela se traduit entre autres par le fait qu'alors que Piaget est en train de dresser le bilan d'une recherche, par exemple celle sur l'abstraction réfléchiante, son esprit est déjà ailleurs, en train de réfléchir aux études à venir, sur la généralisation bien sûr, mais aussi, déjà, sur les correspondances et les morphismes, voire sur une logique des significations. Dès lors, trop peu de temps est laissé à la reprise réfléchie des résultats obtenus et des esquisses de notions construites au gré de l'analyse des conduites. Aucun travail de modélisation ne venant clarifier ces notions et les stabiliser au moins provisoirement, celles-ci restent ainsi parfois lacunaires ou incertaines (c'est le cas surtout des différentes variétés d'abstractions).

¹⁴⁸ L'évocation du lamarckisme renvoie ici à la thèse d'une progression ordonnée des formes d'organisation des êtres vivants, et non pas au mécanisme de transformations biologiques supposé par Lamarck au début du XIX^e siècle (l'effet d'un milieu sur les organismes qui y vivent, ainsi que sa retransmission héréditaire, sous certaines conditions).

Mais tout ne tient pas à la précipitation des recherches. Une bonne part du caractère beaucoup plus touffu des faits et des esquisses théoriques tient au virage pris par l'œuvre. Le problème central n'est plus celui de la genèse des structures, largement résolu ; il est celui des processus, et même des microprocessus, par lesquels sont supposés se construire savoirs et savoir-faire constitutifs de la science et de l'intelligence humaines. Tout au long des onze ouvrages, on ne cesse de voir des sujets se livrer à des activités de prises de conscience, de conceptualisations, d'abstractions, de généralisations, de mises en correspondances, de coordinations inférentielles et autres implications signifiantes, etc. Certes, comme dans les recherches classiques, on peut distinguer différents niveaux dans lesquelles toutes ces activités se laissent en partie ranger. Mais si l'on met entre parenthèses l'ordre provenant de la structuration progressive des contenus épistémiques sur lesquels elles portent (logiques, arithmétiques, géométriques, conservations physiques, etc.), on ne saurait découvrir ces intégrations du dépassé dans le dépassant qui donnent aux exposés de la psychologie génétique classique son ordre quasi parfait¹⁴⁹.

Cela ne signifie pas qu'il n'y a aucun ordre de progression dans l'évolution des mécanismes de construction, dans l'évolution des correspondances ou encore dans celle des possibles. Cet ordre tient pourtant largement aux progrès des connaissances et des savoir-faire logico-mathématiques, ainsi qu'à la maîtrise des notions engagées dans tel ou tel problème. Il est évidemment intéressant de comparer comment plusieurs enfants d'âges différents effectuent chacun une abstraction réfléchissante ou une généralisation. La méthode psychogénétique reste éclairante là même où il ne peut plus être question d'un ordre « parfait » de succession et d'emboîtement des conduites. Non seulement elle permet de dégager des différences dans le fonctionnement des processus constructifs, et leur enrichissement progressif, mais elle nous aide également à concevoir un sujet virtuel unique, synthèse de l'ensemble des enfants de tout âge étudiés dans ces recherches, et qui se construirait progressivement, en partant des conduites sensori-motrices les plus élémentaires jusqu'à atteindre les compétences hypothético-déductives de la pensée « formelle ». Il n'empêche cependant que l'on ne saurait attendre de l'application de cette méthode, même complétée par d'autres, des résultats aussi démonstratifs que ceux acquis en psychologie génétique classique. Piaget lui-même a été sensible à cette différence de degré d'intelligibilité scientifique, du moins si l'on en croit l'usage assez général qu'il fait de la notion de niveau en lieu et place de celle de stade pour caractériser les étapes d'évolution des processus étudiés dans les années 70.

Si la pression du temps et la nature de l'objet expliquent largement le caractère un peu touffu, et parfois obscur, des résultats exposés, cette obscurité, cette profusion un peu égarante ne suffisent pourtant pas à cacher les résultats principaux de ces recherches. Le premier concerne la mise en lumière incessante de l'intervention d'un sujet autant psychologique qu'épistémique dans le devenir cognitif de l'enfant. Le deuxième concerne l'importance des activités intellectuelles du sujet, c'est-à-dire des attributions de significations, des implications entre actions, des implications entre significations, etc., dans les progressions cognitives du sujet, toutes activités qui ne remplacent pas, mais accompagnent, puis orientent les actions et leurs coordinations. Enfin, le troisième concerne la créativité dont fait preuve le sujet tout au long de sa psychogenèse, l'ouverture différenciatrice incessante sur de nouveaux

496 ¹⁴⁹ A ce jour, la théorie de la genèse des structures reste, de toutes les théories psychologiques, la seule qui atteigne un haut statut d'intelligibilité scientifique (un statut qui ne se réduit pas à l'exposé de lois expérimentales).



possibles, constamment équilibrée par un besoin de comprendre et une intégration des nouveautés dans des totalités intelligibles, transparentes à la raison. Nous avons suffisamment souligné ces aspects dans les pages et les chapitres précédents pour ne pas y revenir dans ces remarques finales. Notons toutefois que c'est certainement en partie cette extraordinaire souplesse et créativité manifestée par l'intelligence humaine au cours de ses confrontations avec les multiples problèmes rencontrés qui rend si difficile l'établissement d'une synthèse ordonnée des résultats, ou d'un tableau général des conduites semblable à celui que l'on peut établir à propos du développement des notions épistémiques chez l'enfant, de la naissance jusqu'à l'adolescence¹⁵⁰.

Pour terminer, disons quelques mots des recherches qui pourraient ou devraient être conduites dans le futur pour donner une forme plus achevée aux travaux de la dernière décennie, en plus de cette étude des raisons que Piaget n'a pu qu'ébaucher au terme de sa vie.

On soulignera tout d'abord cette enquête sur la psychogenèse des régulations qui, de manière assez mystérieuse, n'a jamais été mise au programme du CIEG, alors même que la notion de régulation est aussi centrale au constructivisme génétique que celle d'abstraction réfléchissante. En deuxième lieu, en vue de clarifier davantage que ne l'a fait Piaget cette dernière notion et celle de généralisation qui lui est reliée, ou encore les processus de prise de conscience ou de mises en correspondance, ainsi que le fonctionnement des opérateurs logiques « intensionnels », il conviendrait de réaliser toute une série d'analyses logiques et de modélisations informatiques complémentaires aux enquêtes psychogénétiques les plus révélatrices exposées dans les onze ouvrages considérés ici. Il faut rappeler ici que si les études de psychologie génétique classique sont parvenues à une haute intelligibilité scientifique, elles le doivent non seulement à l'emploi de la méthode psychogénétique, mais à celui, complémentaire, des analyses logiques et mathématiques conduites tant par des philosophes des sciences que par les plus grands logiciens, mathématiciens et physiciens, qui ont nourri la pensée de Piaget. Même s'il l'on ne saurait espérer atteindre le même degré d'intelligibilité au sujet des recherches psychogénétiques sur l'abstraction réfléchissante que celui atteint dans les recherches sur le nombre (par exemple), il y a fort à parier que l'utilisation de méthodes complémentaires similaires donnerait aux études sur les processus de construction une tournure un peu moins obscure que celle qui caractérise parfois les enquêtes de la dernière décennie.

Enfin, on relèvera que, contrairement aux études des décennies antérieures, toutes celles des années 70 sont presque entièrement consacrées aux enfants. En même temps que le travail de clarification souhaité, ou à sa suite, il serait intéressant d'étudier des pages assez bien connues de l'histoire des sciences, par exemple l'invention de la théorie de la relativité chez Einstein, pour voir si l'on y peut trouver des processus de prise de conscience, d'abstraction et de généralisation constructives, etc., similaires à ceux découverts chez les enfants¹⁵¹. Il est d'ailleurs très probable que l'activité des savants les plus créateurs manifestera, comme ce sujet virtuel dont il a été question plus haut, des processus dialectiques plus ou moins manifestes mettant aux prises l'intelligence pratique et l'intelligence théorique, l'abstraction différenciatrice et la généralisation intégratrice, la création de nouveaux possibles et le processus de

¹⁵⁰ Voir à ce sujet le module Présentation critique dans le CD-Rom Jean Piaget, cheminements dans l'œuvre scientifique.



nécessitation, etc., dont Piaget et ses collaborateurs ont montré l'intervention chez leurs sujets.

Que celui-ci, aux termes de ses recherches, ne nous apporte aucune réponse définitive concernant les mécanismes de construction, qu'il ne fasse que nous livrer de nombreuses suggestions empiriquement basées et nous permette de relancer plusieurs questions fondamentales, c'est là le démenti le plus clair à la tentation de considérer comme achevé le projet de l'épistémologie génétique, et épuisée la fécondité des interrogations et des méthodes que son fondateur a apportées en prolongement de celles des biologistes, des psychologues et des philosophes de la connaissance.

¹⁵¹ Un premier pas est esquissé dans ce sens dans l'étude commune de Piaget et de Garcia sur Psychogenèse et histoire des sciences. Cependant, il manque tout le suivi de détails et toute l'exhaustivité qui rapprocheraient ces enquêtes de celles réalisées avec des enfants. Mentionnons aussi dans cette direction notre ancien travail sur Jean Piaget, savant et philosophe : les années de formation, qui, quelles qu'en soient les insuffisances, avait clairement pour objectif l'étude de la formation des connaissances et du sujet de la connaissance chez le biologiste, psychologue et épistémologue suisse. Dans quelle mesure Piaget a-t-il lui-même mis en œuvre des processus de prises de conscience, d'abstractions réfléchissantes, de généralisations synthétiques ou complétives, etc., lors de la construction de la théorie constructiviste, voilà une question qu'il serait intéressant de traiter.









Index des notions

En plus de définir brièvement quelques notions peu communes utilisées dans cet ouvrage, cet index cherche à faire le point sur plusieurs concepts de base de la psychologie et de l'épistémologie génétiques utilisées ou développées dans les travaux de la dernière décennie. Il s'agit d'une tentative basée non seulement sur la totalité de l'œuvre piagétienne avec laquelle nous nous sommes familiarisés pendant près de trente ans, mais aussi sur des conceptions d'autres auteurs (notamment Husserl) dont nous croyons qu'elles apportent des éclaircissements ou des compléments utiles. Il faut reconnaître en effet qu'en général Piaget n'a jamais prêté grande attention à la recherche de définitions approfondies des notions élaborées au cours de ses très nombreuses recherches. Pourtant, si à une certaine étape du travail scientifique cette tâche de définition est stérilisante, elle devient un jour ou l'autre indispensable et probablement même féconde lorsqu'il s'agit d'ajuster entre elles les conceptions et les notions « spontanément » construites et proposées, ainsi que de les clarifier. En mettant en évidence des zones d'ombres, une telle tâche peut entraîner des modifications ou des remaniements conceptuels. Nous ne nous priverons pas d'apporter de telles modifications lorsque nous le jugerons nécessaire, en indiquant toutefois les transformations que nous faisons subir aux notions en question. Nous tenons également à souligner que ce travail logique sur les concepts doit rester complémentaire du travail de terrain au cours duquel le chercheur prend connaissance des faits comportementaux, psychologiques et intellectuels qui sont la matière première de la psychologie et de l'épistémologie génétiques, et auxquels il faut toujours finalement revenir¹⁵².

abstraction

Classiquement, l'abstraction est un processus par lequel un sujet extrait ou différencie intellectuellement d'une « réalité » donnée une de ses parties, une de ses propriétés ou un de ses aspects pour le considérer isolément, en fonction de tel ou tel but (par exemple le but de découvrir ou d'explicitier les caractères communs d'une collection d'objets, leur couleur, etc.). Partant de cette notion très générale, Piaget va en distinguer différentes formes ou types : abstractions empiriques, pseudo-empiriques, réfléchissantes, réfléchies, simples, aristotéliennes, logico-mathématiques, etc., qui peuvent plus ou moins se recouvrir, et dont seules les premières sont reprises ou traitées dans la dernière décennie des recherches du CIEG.

¹⁵² Une partie des définitions exposées ci-dessous provient du glossaire notionnel inséré dans le CD-Rom Jean Piaget (Ducret et al., 1997). Le lecteur pourra trouver d'autres essais de définitions dans ce CD-Rom, ainsi, entre autres, que dans Ducret (1990) ou Montanero et Maurice (1994).



abstraction empirique

L'abstraction empirique est le processus par lequel le sujet découvre ou extrait par « simple » lecture une propriété ou une régularité dans la réalité qui est alors l'objet de son attention. A la question qui lui est ainsi posée sur la couleur ou le poids d'un objet, le sujet pourra se tourner vers celui-ci pour en abstraire le trait qui l'intéresse, c'est-à-dire le distinguer de ses autres propriétés afin de répondre à la question posée (en faisant du même coup abstraction des traits non retenus). Il est entendu que pour ce faire, le sujet doit forcément disposer d'un cadre logico-mathématique plus ou moins développé (reconnaître un objet comme rouge, c'est le ranger dans la collection, l'ensemble ou la classe des objets rouges, c'est opposer la propriété « rouge » à la propriété « non-rouge », etc. ; reconnaître un objet comme plus grand qu'un autre, c'est utiliser la notion de grandeur pour percevoir cette relation dans la situation considérée). Mais, sous réserve que ce cadre ait été préalablement construit, l'action elle-même de lecture est en son principe simple, et l'information recherchée se livre au sujet qui l'enregistre alors de manière relativement passive (il se contente d'extraire l'information pertinente de ce qui s'offre à lui et qu'il sait reconnaître et catégoriser). De même le sujet pourra-t-il abstraire une loi empirique en se tournant vers une réalité particulière alors considérée par lui (par exemple la régularité des mouvements du soleil considérés à partir du point de vue d'un habitant d'une région de la Terre), en employant pour ce faire un cadre notionnel et opératoire (ou préopératoire), mais aussi tout un ensemble de savoir-faire préalablement construits.

Contrairement à ce qui se passe dans l'abstraction réfléchissante (et constructive), dans l'abstraction empirique, le sujet ne vise pas une propriété formelle universelle telle que celles qui caractérisent les « idéalités logico-mathématiques » (propriétés mathématiques des triangles, propriétés des opérations arithmétiques et de leurs compositions, propriétés des morphismes et de leurs compositions, etc.), et qui exige pour être atteinte un travail constructif de comparaison, de coordination, ou tout autre type d'activités intellectuelles ; il vise au contraire une propriété propre au vécu sensoriel ou à la réalité matérielle qui s'offre concrètement à lui (et qui, encore une fois, peut être la forme répétée des mouvements apparents du soleil dans le ciel, ou la plus ou moins grande intensité d'une douleur).

En prenant quelque distance par rapport à la définition première de Piaget, qui lie étroitement abstraction empirique et connaissance « physique » (au sens large qui inclut tout ce qui a trait aux réalités non mathématiques, y compris le psychologique considéré sous l'angle du comportement, voire même le vécu psychologique intérieur au sujet, tel que le sentiment de l'effort), on peut admettre qu'en principe, l'appartenance épistémologique de la propriété ainsi empiriquement abstraite importe peu ou même pas du tout. Seule la manière d'atteindre la connaissance permet de déterminer si un processus d'abstraction et son résultat sont de nature empirique (visant la particularité d'un phénomène, y compris une régularité empirique), par opposition à l'abstraction réfléchissante, qui elle n'a pas pour but la prise d'information concernant l'une ou l'autre des propriétés d'une réalité empiriquement donnée (dans l'expérience physique ou dans l'expérience psychologique), mais vise l'organisation interne générale des actions ou opérations du sujet, avec la nécessité logique ou mathématique qui lui est propre, pour la reconstruire sur un nouveau plan, en exigeant de ce fait un travail de construction de formes.



Pour prendre un exemple, si l'on demande au sujet combien de pommes contient une collection de fruits qu'il a devant les yeux, il pourra reconnaître la solution en procédant par abstraction numérique empirique (c'est-à-dire qu'il ne retiendra de la réalité qui s'offre à lui que la seule caractéristique qui l'intéresse alors : la quantité numérique). La propriété ainsi reconnue par une telle abstraction empirique ne sera alors ni physique ni psychologique, mais bien numérique (même si celle-ci peut relever d'une arithmétique encore tout empirique et insuffisamment dissociée des connaissances physiques et spatiales). Mais bien sûr cette lecture empirique pourra s'appuyer sur des connaissances (par exemple sur la connaissance des lois de composition des nombres) qui, dans la mesure où elles sont proprement logico-mathématiques, ne relèvent pas de l'abstraction empirique, mais auront été acquises par voie d'abstraction réfléchissante. Notons pourtant que les propriétés logico-mathématiques elles-mêmes (par exemple la loi d'associativité de l'addition, qui n'est plus la propriété d'une collection de pommes, mais bien celle d'une réalité de part en part mathématique) peuvent elles aussi, à un certain niveau, être partiellement connues par voie d'abstraction empirique (ou pseudo-empirique), en particulier par une lecture sur la réalité extérieure au sujet de propriétés introduites par lui dans cette réalité et qu'il lui attribue. Par exemple, un sujet peut compter dans un sens le nombre de cailloux posés sur un muret ; puis il peut compter en sens inverse ce nombre, et découvrir ainsi empiriquement la loi de commutativité de l'addition, qui reste alors cependant encore attachée à une ou des situation(s) particulière(s) et ne peut avoir alors d'autres généralités qu'une généralité empirique.

Pour distinguer ces deux espèces d'abstraction empirique – l'une, « physique » au sens le plus large, ne pouvant que rester empirique, et l'autre approchant et découvrant sous forme certes encore empirique l'universel logico-mathématique à travers le particulier, le logico-mathématique à travers ce qui s'offre à l'expérience, et donc pouvant tôt ou tard être supplantée par l'abstraction réfléchissante –, Piaget propose d'introduire la notion un peu bâtarde d'abstraction pseudo-empirique aux côtés de la notion d'abstraction empirique, alors limitée au domaine des connaissances naturelles (physiques, biologiques, psychologiques, sociologiques, etc.).

abstraction pseudo-empirique (ou pseudo-physique)

L'abstraction pseudo-empirique (ou, comme on le verra, pseudo-physique) est le mécanisme évoqué par Piaget pour expliquer comment le sujet peut arriver à des connaissances logico-mathématiques, certes impropres, par la voie de l'expérience. Par exemple, la propriété de transitivité des grandeurs géométriques peut être connue empiriquement (le sujet fait l'expérience que si $A > C$ et $C > B$ alors $A > B$; et il peut même parvenir à une généralisation empirique de cette découverte si l'expérience se répète et qu'il prend note de cette répétition). Selon Piaget, cette forme pseudo-empirique d'abstraction apparaît en outre de manière privilégiée, voire même exclusive, dans les contextes où le sujet, après avoir introduit par ses actions un ordre dans la réalité extérieure, découvre dans cet ordre le reflet empirique de certaines des propriétés logico-mathématiques inhérentes à l'organisation de ses actions (cet ordre pourrait néanmoins être introduit dans la réalité extérieure par un autre sujet).

Il faut cependant remarquer qu'en son mécanisme, l'abstraction pseudo-empirique ne se distingue pas foncièrement de l'abstraction empirique : dans les deux cas le sujet tire de la réalité qu'il considère une propriété ou une information adéquate par



rapport à cette réalité particulière. La qualification de « pseudo » ne saurait donc moduler la notion d'empiricité en jeu. En d'autres termes, une abstraction pseudo-empirique reste une abstraction empirique, même si elle en est une forme particulière, ce que Piaget admet d'ailleurs lui-même implicitement dans la mesure où il reconnaît que le logico-mathématique peut très bien être l'objet d'une connaissance empirique¹⁵³. Si l'abstraction pseudo-empirique se distingue pourtant de l'abstraction empirique, avec laquelle elle partage un mécanisme commun d'acquisition d'une information ou d'une connaissance, c'est par le fait que la propriété empiriquement dégagée est le reflet d'une propriété opératoire de portée universelle, c'est-à-dire d'une loi, d'une propriété ou d'une forme logico-mathématique encore inconnue ou mal connue du sujet, mais cependant inscrite dans ses actions ou ses opérations, et à laquelle il ne pourra ultérieurement « accéder » pleinement que par le moyen de l'abstraction réfléchissante. Le fait pour cette propriété de n'être qu'empiriquement atteinte signifie que, telle qu'elle apparaît au sujet, elle n'est pas proprement logico-mathématique, mais le reflet incorporé dans une réalité matérielle (perçue ou, dans le cas d'expériences mentales, imaginée) de la loi virtuellement présente dans ses actions ou ses opérations. Plutôt que « pseudo-empirique » c'est donc de « pseudo-physique » que l'on pourrait qualifier le processus d'abstraction empirique portant sur une propriété logico-mathématique incorporée dans l'objet considéré et se reflétant en lui.

En définitive, si l'on tient compte du double critère apporté à la fois par la nature épistémologique des connaissances considérées (naturelles ou logico-mathématiques) et par la nature psychologique des mécanismes d'acquisition de ces connaissances, les oppositions pertinentes semblent être celles qui opposent abstraction physique à abstraction logico-mathématique (pour le premier critère), et abstraction empirique à abstraction réfléchissante (pour le deuxième critère). En nous inspirant par ailleurs des distinctions proposées par Piaget entre les deux formes – empiriques et constructives – de généralisation, nous pourrions aussi caractériser la seconde opposition en parlant d'abstraction constructive en lieu et place d'abstraction réfléchissante, ce qui nous conduirait donc à opposer cette abstraction constructive (et nécessairement formelle ou logico-mathématique, dans la mesure où elle porte sur des compositions ou des coordinations) aux abstractions empiriques (et pseudo-empiriques), qu'en certains de ses anciens textes Piaget qualifiait également d'abstraction simple ou aristotélicienne. En tous les cas, on voit en quoi la notion d'abstraction pseudo-empirique emprunte sa raison d'être aux deux critères en question (l'un épistémologique, l'autre psychologique).

¹⁵³ Notons en passant que la notion de mathématique empirique ne s'applique pas seulement aux premières étapes du développement cognitif de l'enfant. On la retrouve à l'évidence dans le développement de la science mathématique elle-même et elle est même revendiquée par tout un courant actuel de cette science, au point qu'il existe depuis 1992 un journal, *Experimental mathematics*, dont le but est de publier « des résultats inspirés par l'expérimentation, des conjectures suggérées par l'expérience, des recherches dans différentes branches des mathématiques développées selon le point de vue expérimental », etc. (extrait de la présentation de cette revue).



abstraction réfléchie

L'abstraction réfléchie est le processus par lequel un sujet compare les résultats de deux processus d'abstraction réfléchissante pour révéler les formes communes que se partagent ces résultats. Elle correspond dans les faits à une étape particulière de la construction des mécanismes d'abstraction réfléchissante, soit à l'étape dans laquelle le sujet peut incorporer dans ses activités réflexives les capacités de traitement intellectuel que lui offrent les opérations et la pensée formelles, ainsi que celles qui préparent ces dernières lors de l'achèvement de la construction des opérations concrètes. Cette activité comparative et qui permet de dégager des formes communes de structures entre les objets comparés s'apparente pour Piaget aux formes d'opérations traitées par la théorie mathématique des catégories (ou sous-jacentes à la construction de cette théorie).

abstraction réfléchissante

L'abstraction réfléchissante est le processus évoqué par Piaget dès son Introduction à l'épistémologie génétique de 1950 pour rendre compte de certaines particularités constatées de la pensée et des « réalités » logico-mathématiques par opposition aux connaissances physiques. Alors que les secondes s'appuient forcément à leur base sur une prise d'information empirique des propriétés des réalités sur lesquelles elles portent, les connaissances logico-mathématiques s'enracinent quant à elles dans l'organisation générale interne des actions puis des opérations, et au-delà dans l'organisation biologique interne qui supporte la première¹⁵⁴. Le rapport de chaque « étage » de l'édifice mathématique aux étages précédents ne relève à aucun moment, si ce n'est accessoirement, d'une prise de connaissance empirique (ou d'une abstraction empirique). Tout nouvel étage, toute nouvelle forme construite, reflète et généralise ce qui a été préalablement construit sur le palier inférieur, et l'abstraction réfléchissante est, avec la généralisation constructive, le mécanisme complexe par lequel cette construction s'effectue (voir par exemple le passage de l'enfant qui sait s'orienter dans l'espace proche, puis qui sait, bien plus tard, structurer sa représentation de l'espace). Lors de cette construction, le sujet tire ou abstrait certes certaines informations de l'organisation antérieure de ses actions ou de ses opérations ; ou encore tire certaines informations de l'objet organisé produit par cette organisation d'actions ou d'opérations, cela non pas dans le but de répondre (comme peut le faire l'abstraction pseudo-empirique) à une interrogation sur la forme particulière et empiriquement reconnaissable de telle ou telle organisation, mais, au-delà, dans le but d'équilibrer ses actions, de se débarrasser de certaines lacunes cognitives, ou encore de parvenir à une cohérence ou une compréhension intellectuelle supérieure à celle à laquelle il a jusqu'alors accédé. L'abstraction réfléchissante partage donc bien avec l'abstraction empirique (et pseudo-empirique) un mécanisme d'extraction ou de lecture d'information ; mais ce mécanisme n'est alors qu'un aspect, et pas le plus important, du processus d'ensemble par lequel le sujet accroît ses connaissances logico-mathématiques.

Certes, à revenir sur certaines caractéristiques très générales propres à la connaissance logico-mathématique, qui sont au point de départ de la reconnaissance du processus d'abstraction réfléchissante, on pourrait rétorquer que la connaissance physique comporte elle aussi une dimension rationnelle (la causalité opératoire) qui ne saurait résulter du mécanisme d'abstraction empirique sans lequel cette connaissance



n'existerait pas. Mais la dimension de nécessité rationnelle que comporte alors la connaissance physique en son versant explicatif trouve sa source non pas dans l'abstraction empirique, mais, de manière dérivée, dans un processus d'attribution à la réalité physique d'opérations similaires à celles que le sujet a construites par ailleurs au moyen du mécanisme d'abstraction réfléchissante. La réalité physique peut comporter à nos yeux une dimension de nécessité rationnelle dans la mesure où nous lui attribuons des opérations et des formes d'opérations, ou des relations et des formes de relations, reflétant partiellement les opérations et les formes mathématiques construites par abstraction réfléchissante.

Notons aussi que, comme on l'a vu, dans sa visée de compréhension accrue ou de dépassement des lacunes cognitives, l'abstraction réfléchissante est le plus souvent, par la force des choses, une abstraction constructive : des activités de régulations, de combinaisons, etc., sont engagées aux côtés de l'activité d'extraction d'informations pour aboutir à une forme accrue d'équilibre, de cohérence ou de saisie intellectuelle. Pourtant, on peut se demander si, comme c'est le cas pour l'abstraction empirique, il n'existerait pas une forme bâtarde d'abstraction réfléchissante dans laquelle la simple saisie d'une forme mathématique incorporée dans une organisation d'actions ou d'opérations (ou même dans la forme d'un objet matériel servant de support à la pensée) parviendrait à atteindre parfaitement la forme ainsi visée, sans que cette démarche réflexive ne soit accompagnée d'une activité de dépassement dialectique de lacunes cognitives (se manifestant chez le sujet par un besoin de comprendre ou de rendre raison). On pourrait ainsi ajouter aux différentes notions proposées par Piaget celle d'une abstraction réfléchissante simple, non constructive, qui désignerait cette activité de contemplation presque pure à laquelle peut accéder un sujet saisissant parfaitement la forme logico-mathématique (par exemple la transitivité) à travers le support fourni par une coordination particulière d'actions ou d'opérations, voire même à travers le support d'une forme incorporée dans une réalité matérielle (perçue ou imaginée). Une telle abstraction réfléchissante simple aurait alors pour particularité de ne pas mettre en jeu le processus de réflexion (de travail) intellectuel au moyen duquel le sujet a construit dans le passé les formes ou structures intellectuelles a priori lui permettant maintenant d'appréhender sans problème, à travers ce qui s'offre à lui, les propriétés formelles qui leur correspondent.

Enfin, notons encore que la notion d'abstraction réfléchissante semble, dans le contexte des recherches des années 70, prendre une extension et un statut plus large qu'auparavant. Ce mécanisme n'assure plus seulement la découverte et reconstruction sur de nouveaux paliers des lois les plus générales des actions et des opérations,

¹⁵⁴ Notons, pour compliquer encore un peu plus les choses, que dans la dernière décennie de ses recherches, et notamment dans le contexte des recherches sur les correspondances, les morphismes et les catégories, Piaget a été amené à reconnaître que la construction des connaissances mathématiques peut trouver un appui précieux dans les formes découvertes par abstraction empirique dans la réalité physique. Cela n'implique naturellement pas le rejet de la thèse épistémologique associée à la notion d'abstraction réfléchissante, mais sa relativisation (ou sa possible généralisation, dans la mesure où le processus réfléchissant pourrait porter non plus seulement sur les coordinations générales des actions ou sur les formes internes déjà construites, mais sur les formes mathématiques détectées par abstraction empirique dans la réalité extérieure considérée par le sujet). D'autre part, cette place alors possiblement accordée à la découverte des formes mathématiques inhérentes à la réalité physique dans la construction de certains chapitres des sciences mathématiques n'implique en rien un rejet du rôle du sujet, puisque toute lecture de l'expérience met forcément en œuvre des coordinations d'actions (des mises en relations, des comparaisons, des classifications, etc.) du sujet prenant connaissance de ces formes (qui ne résultent pas des actions du sujet, contrairement à ce qui se passe dans le contexte des abstractions pseudo-empiriques au sens où Piaget les entend).



ou la construction sur chaque palier de nouvelles structures logico-mathématiques reflétant les anciennes en les enrichissant, mais aussi la découverte et reconstruction contextualisée de régularités logico-mathématiques particulières, inhérentes à des actions ordonnées (voir par exemple le chapitre IX des Recherches sur l'abstraction réfléchissante, qui montre comment le sujet peut découvrir des lois particulières de séries additives dans le but de résoudre un problème localement circonscrit).

accommodation (cognitive)

L'accommodation est le processus par lequel le sujet différencie ses schèmes (de perception, d'action, de pensée, etc.) à chaque fois que leur application à un objet ou une situation s'avère inadéquate. Ce processus peut prendre des formes plus ou moins conscientes et élaborées selon le niveau de développement cognitif du sujet. Par opposition aux régulations de type alpha (dans lesquelles le sujet refoule ou rejette plus ou moins consciemment les faits inassimilables ou très difficilement assimilables aux schèmes utilisés pour les traiter, en d'autres termes qui interviennent dans le cas où la situation ou l'objet considéré sort des normes d'accommodation des schèmes utilisés), les régulations beta et gamma peuvent être considérées comme des instruments d'accommodation de ces schèmes ou systèmes de schèmes. L'accommodation des schèmes entraîne l'apparition de nouveaux schèmes différenciés, qui peuvent être certes considérés comme des cas particuliers des schèmes de départ, mais dont le nombre croissant entraîne une augmentation exponentielle des possibilités de nouvelles combinaisons de schèmes, ainsi que la capacité d'assimiler un nombre également exponentiellement croissant d'objets ou de situations. L'accommodation constitue ainsi l'un des deux processus très généraux de construction psychologique et/ou cognitive, l'autre étant le mécanisme de coordination des schèmes, qui lui aussi peut prendre des formes différentes au cours de la psychogenèse, et construit de nouveaux schèmes intégrant de manière plus ou moins articulée et différenciée les anciens. Ces deux processus peuvent évidemment être récursivement liés l'un à l'autre (une coordination impliquant une accommodation des schèmes coordonnés, et une accommodation multipliant les possibilités de coordination).

Notons enfin que le processus d'accommodation intervient également dans la différenciation des coordinateurs qui, selon Piaget, est l'une des sources les plus générales des transformations et des correspondances, qui sont à ses yeux les deux activités majeures du sujet dans son traitement du réel (le sujet transforme le réel, ou établit des correspondances).

apriori

Par apriori il faut d'abord entendre les conditions logiques (ou transcendantales au sens de Kant) de la connaissance objective d'une réalité quelconque. Par exemple, pour percevoir un objet dans l'espace, il est nécessaire que le sujet ait une notion ou une intuition préalable (au sens épistémologique) de l'espace qui permette de percevoir un objet comme étant situé dans cet espace (à gauche, en bas, à côté de tel ou tel autre objet, etc.). A cette première signification, l'épistémologie génétique en ajoute une seconde, non plus exclusivement logique (ou transcendantale) mais aussi temporelle : une condition peut être apriori au sens de Kant, et pourtant non donnée



au départ de la psychogenèse. Le constructivisme de Piaget peut ainsi se résumer dans la thèse selon laquelle les formes et les notions ou concepts a priori qui permettent d'assimiler le réel et de l'expliquer sont construites par les sujets au cours d'une psychogenèse dans laquelle intervient un certain nombre de facteurs de développement (dont ceux, internes au sujet, d'équilibration majorante et de dialectique).

assimilation (cognitive)

Inhérente au fonctionnement de tout schème d'action et de perception (au sens le plus général qui soit), l'assimilation cognitive est l'un des processus les plus importants de construction des réalités variées que perçoit ou conçoit le sujet, et même plus généralement tout organisme vivant en tant qu'organisme agissant, percevant ou connaissant, au cours de son existence. L'assimilation d'une réalité *x* est le processus d'incorporation de cette réalité au schème ou au système de schèmes alors en jeu, processus qui, en sens inverse, constitue cette réalité et lui donne sens pour le sujet qui la considère.

Pour comprendre le sens profond de la notion d'assimilation, il convient de partir de l'emprunt fait par Piaget à la biologie fonctionnelle telle que pouvait la développer au début du XX^e siècle le physiologiste Le Dantec, dans le contexte de ses recherches à l'Institut Pasteur. Cet auteur concevait l'assimilation comme le processus fondamental du fonctionnement vivant au cours duquel une matière étrangère à un organisme (et notamment à un organisme monocellulaire) était transformée par celui-ci en sa propre matière vivante. Le transfert de la notion physiologique à la notion éthologique, psychologique ou cognitive d'assimilation soulève toutefois un problème. Le physiologiste qui étudie le processus d'assimilation dans un organisme quelconque a face à lui deux réalités qui s'inscrivent sur deux plans voisins : la nourriture et l'organisme (dans le cas le plus simple : monocellulaire) qui s'apprête à la dévorer matériellement. Qu'est-ce qui, dans le cadre de l'assimilation éthologique, psychologique ou cognitive, correspond à ces deux réalités interagissantes (pour faire bref, nous utiliserons la formule « assimilation cognitive » dans la suite, en étendant alors la notion de cognitif au contexte des assimilations sensorielles ou perceptives que l'on rencontre dès le niveau des échanges informationnels et non plus essentiellement matériels entre un organisme et son milieu) ? Pour ce qui est de l'étude de l'être humain, le psychologue qui s'en charge a en face de lui un certain sujet confronté à une certaine réalité. Il y a ici deux problèmes. Premièrement, il n'est évidemment pas question pour ce psychologue d'appréhender ce sujet à la manière dont le physiologiste appréhende l'organisme. L'objet « sujet » est un objet beaucoup plus abstrait, beaucoup plus difficile à saisir objectivement que l'objet « organisme ». D'autre part, alors que le physiologiste est de manière très générale certain que l'objet que l'organisme cherche à assimiler a tel ou tel ensemble de propriétés physico-chimiques, et qu'une fois assimilé cet objet devient ceci ou cela, la question se pose sans cesse au psychologue constructiviste de savoir ce qu'est la réalité à laquelle se confronte le sujet qui cherche à la reconnaître, à la connaître ou à la transformer. Le psychologue n'a en effet qu'un accès indirect à la réalité perçue ou conçue par sujet qu'il étudie, et il lui faut de plus mettre en rapport cette réalité avec la réalité « totale » que celui-ci trouve face à lui alors qu'il cherche à l'assimiler ! La psychologie génétique nous apprend que la réalité du bébé ou du jeune enfant n'est pas la réalité telle qu'elle s'offre à l'adulte commun de nos sociétés. Nous le savons parce que le bébé ne réagit



pas comme nous à la vision d'un objet (il ne retourne par exemple pas le biberon pour introduire le goulot dans sa bouche ; le goulot semble pour lui s'annihiler aussitôt qu'il disparaît de sa vue). Mais alors, avec quelle réalité le sujet interagit-il pour construire, par assimilation et accommodation, la réalité qui est la sienne ?

La réponse à cette question peut se faire en deux temps, selon que l'on considère le point de départ du processus d'assimilation cognitive ou les étapes ultérieures. Au point de départ, la « matière » assimilée par le sujet est ce que Piaget appelait « tableau sensoriel » dans son ouvrage de 1937 sur La construction du réel chez l'enfant. Cette matière sensorielle brute est celle que lui livre son système nerveux central, et qui ne contient donc pas encore en retour l'effet des transformations que lui fait subir le processus d'assimilation cognitive. Mais dès que les premières assimilations ont été effectuées (qui au départ sont le fait de schèmes innés plus ou moins organisés, et de portée plus ou moins générale), dès, donc, qu'une première réalité, ou de premiers îlots de réalité, apparaissent au sujet à la suite de ces assimilations, ce sont ces réalités construites par lui (ou par ses schèmes innés) qui, en plus de ces tableaux sensoriels évanescents, vont servir de base matérielle à ses constructions ultérieures. Le sujet ne peut en effet jamais s'extraire de lui-même, de ses schèmes d'assimilation et de leurs produits pour aller capter au-delà de sa réalité ce dont serait faite une quelconque réalité en soi, ni même ce que deviendra sa réalité lors de l'étape suivante de son développement cognitif. En un mot le sujet ne peut assimiler que la « matière » dont il dispose (sa réalité actuelle). Mais cela ne signifie pas qu'il n'a pas la possibilité d'enrichir cette « matière » et donc la réalité qui lui fait face. Les limitations de ses schèmes d'assimilation, qui entraînent leur accommodation ou de nouvelles coordinations, laissent place à l'intervention de schèmes déjà construits et qui donnent sens à ces limitations. La lacune, l'échec lié à une assimilation peuvent ainsi entraîner les mécanismes de la prise de conscience, de l'arrêt du système cognitif sur ce qui fait problème, laissant à ces autres schèmes la possibilité de rendre manifeste ce qui, dans la situation présente, fait problème. Des tableaux sensoriels ou des significations complémentaires pourront venir en certains cas s'attacher au schème problématique et entraîner ainsi sa différenciation infrapsychologique ou psychologique. En d'autres cas au contraire, le problème sera plus simplement résolu par l'intervention d'un autre schème assimilant la « préréalité » visée par le sujet, ou alors au contraire grâce à l'intervention d'un mécanisme plus élaboré de coordination des moyens susceptibles de créer de nouveaux schèmes supérieurs d'assimilation.

assimilation réciproque

Lorsque deux systèmes cognitifs ou deux schèmes sont susceptibles d'agir sur une commune réalité (par exemple la vision par le bébé de ses deux mains et le déplacement simultané de celles-ci, ou encore le schème de vision d'un objet et le schème de préhension de ce même objet), l'assimilation de cette réalité par l'un des deux systèmes peut modifier la réalité qui est l'objet d'assimilation du second. Le cadre d'assimilation du second va dès lors peu à peu se différencier de manière à permettre l'intégration des modifications en question. La même chose se produisant dans l'autre sens, les deux schèmes activés vont interagir de façon de plus en plus étroite, en donnant ainsi naissance à un schème les fusionnant ou les coordonnant, selon le niveau de maîtrise des interactions atteint par le sujet. Dans l'exemple classique de la vision et de la préhension (exposé par Piaget dans son étude sur La naissance de



l'intelligence chez l'enfant), un schème de vision-préhension va naître de la fusion, puis de la coordination consciente des schèmes fonctionnant d'abord de manière indépendante, quoique simultanée.

Intégré dans le schème englobant, chacun des deux schèmes de départ peut ainsi tour à tour servir de moyen à l'autre. Ce moyen reste alors implicite ou inconnu du sujet dans le cas d'un processus de fusion des schèmes initiaux (le bébé, qui saisit sans problème un objet se trouvant en tel lieu de son espace visuel grâce au rapprochement de sa main puis à la prise de l'objet, n'a pas conscience que la vision de la distance entre sa main et l'objet règle le déplacement de sa main). Il peut au contraire devenir conscient dans le cas où le sujet utilise intentionnellement l'un des deux schèmes comme instrument permettant d'atteindre le but fixé par le second schème (saisir un objet qui se trouve à l'intérieur d'un autre, la prise du second étant la condition de la vision du premier, ou bien, en sens inverse, inspecter un objet pour le saisir de la façon la plus adéquate).

Notons enfin que l'assimilation réciproque intervient à tous les niveaux du développement et du fonctionnement cognitifs. On la retrouve en particulier dans le contexte de la fusion entre classe et relation constitutive du nombre, ou encore dans le contexte du passage des groupements logiques au groupe INRC (assimilation réciproque des opérations directes et inverses provenant de différents groupements logiques).

catégorie (épistémologie génétique)

L'appui que le psychologue et épistémologue généticien peut trouver dans la théorie mathématique des catégories semble prendre deux directions (voire même une troisième, si l'on considère qu'avant même la période de recherches considérées dans cet ouvrage le premier usage de la théorie mathématique des catégories allait dans le sens d'une modélisation des capacités de mises en rapport propres à l'intelligence préopératoire, entre l'âge de 4 et 7 ans environ ; voir sur ce point l'ouvrage sur L'épistémologie de la fonction).

Dans une première direction, la plus prudente, le psychologue généticien et ses collaborateurs du CIEG étudient comment au sein d'un groupe ou d'un groupement (par exemple le groupement des rotations d'un cube, ou les groupements permettant de maîtriser les relations de parenté) des mises en rapport ou des comparaisons de formes sont produites par le sujet, par des procédés évoquant les compositions de formes (ou de rapports entre formes, ou de morphismes) décrites par la théorie mathématique. C'est en définitive cette direction qui semble avoir été privilégiée dans l'étude sur Morphismes et catégories, privilège d'ailleurs justifié par la découverte, chez le sujet de la fin de la période des opérations concrètes (11-12 ans environ) et du stade formel, de capacités – inhérentes à l'abstraction réfléchie – de composer de manière réglée les rapports entre des correspondances de formes, capacités apparentées aux opérations dégagées par la théorie des catégories, et donc modélisables au moyen des instruments formels livrés par celle-ci. Un exemple parmi d'autres est celui des groupements composant les relations de parenté, reconnus comme constituant une forme spéciale de catégorie mathématique. En procédant ainsi, Piaget ne fait alors que reproduire avec les catégories ce qu'il a anciennement réalisé avec les structures (montrer l'existence de précurseurs des objets mathématiques les plus



généraux au sein de la psychogenèse de l'intelligence et utiliser du même coup ces objets mathématiques pour modéliser la « pensée naturelle »).

La seconde direction, dont on trouve un écho plus faible à l'intérieur de Morphismes et catégories, est celle, beaucoup plus ambitieuse, de la recherche dans la théorie mathématique des catégories des instruments les plus généraux de modélisation de production d'enchaînement des structures ou des formes révélées par les recherches psychogénétiques, et par delà, par l'étude de l'évolution des formes biologiques. Cette seconde direction est suggérée par la dimension proprement transformationnelle ou génératrice (de formes) de la théorie des catégories. Elle s'appuie d'ailleurs sur la notion même d'abstraction réfléchissante, selon laquelle la construction de nouvelles structures ou formes de pensée se fait par réflexion (au double sens physique et intellectuel du terme) à partir des (proto-)structures ou des formes préalablement construites, donc aussi par une activité de mises en rapport de formes et de correspondances déjà acquises. Y a-t-il dans les mécanismes naturels les plus généraux de production des formes quelque chose qui s'apparente à la capacité d'engendrer de nouvelles structures, que révélerait à son étage le plus abstrait le travail du mathématicien venant se réfléchir dans la théorie des catégories ? Voilà la question qui donne probablement son sens épistémologique le plus profond aux recherches du CIEG sur les morphismes et les catégories, question à laquelle il n'a pas été apporté de réponse, exception faite peut-être du mécanisme « intra-inter-trans » exposé par Piaget et Garcia dans leur étude comparative sur Psychogenèse et histoire des sciences : tout progrès qualitatif des connaissances ou de l'intelligence part de connaissances se limitant aux caractéristiques internes à un objet, se poursuit par des mises en rapport entre des objets, y inclut leurs relations internes, et s'achève par l'insertion de ces relations de relations dans un système qui les explique ou les engendre.

catégorie (mathématique)

Nous nous appuyons ici sur la définition de catégorie (et de morphisme sur laquelle la première s'appuie) proposées par L. Chambadal dans son Dictionnaire de mathématique (Hachette, 1978).

Une catégorie K est la donnée : 1. d'une classe (avec ses objets A, B, C , etc.) (par exemple la classe des ensembles), 2. pour tout couple (A, B) , d'un ensemble $\text{Mor}(A, B)$ dont les éléments sont appelés morphismes de A dans B , et 3. d'une application qui, pour tout triplet A, B et C , fait correspondre à tout élément f de $\text{Mor}(A, B)$ et à tout élément g de $\text{Mor}(B, C)$, un élément noté $g \circ f$ de $\text{Mor}(A, C)$. Ces objets, les couples qu'ils constituent et l'application composant les morphismes g, f , etc., obéissent en plus à trois axiomes, dont les deuxième et troisième sont proches des lois d'identité et d'associativité que l'on rencontre en théorie des groupes : 1. tout $\text{Mor}(A, B)$ et tout $\text{Mor}(C, D)$ sont disjoints, à moins que $A = C$ et $B = D$; 2. pour tout objet P de la catégorie K , il existe un morphisme I_P tel que pour tout objet Q de la même catégorie et pour tout morphisme g de $\text{Mor}(P, Q)$ on aura $g \circ I_P = g$, et pour tout morphisme h de $\text{Mor}(Q, P)$ on aura $I_P \circ h = h$; enfin 3. pour tout ensemble de 4 objets de la catégorie, et pour tout morphisme f de $\text{Mor}(A, B)$, tout morphisme g de $\text{Mor}(B, C)$, enfin tout morphisme h de $\text{Mor}(C, D)$, on a $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$.



On trouvera plusieurs exemples de catégories, dont un très simple portant sur deux ensembles de deux éléments chacun, avec les applications (ou morphismes) qui les relient à eux-mêmes ou entre eux, dans le chapitre de Papert sur l'épistémologie des catégories paru dans *Logique et connaissance scientifique* (Piaget et al., 1967). Rappelons aussi la définition proposée par Henriques, qui montre bien la double facette épistémologique de la notion mathématique de catégorie : « les catégories sont essentiellement des ensembles de morphismes organisés en des systèmes opératoires » (*Morphismes et catégories*, p. 199).

causalité opératoire

La causalité opératoire s'oppose aux formes anthropomorphiques et biomorphiques qui la précèdent dans la genèse de la pensée enfantine comme dans celle de la pensée scientifique. Alors que celles-ci expliquent les phénomènes physiques par attribution généralisée de caractéristiques relevant de la pensée ou de la vie (notamment la volonté ou la finalité), la causalité opératoire attribue au réel et aux actions qui s'y produisent des propriétés partiellement isomorphes aux propriétés logico-mathématiques des actions ou des opérations propres du sujet. Une telle attribution permet au sujet non seulement d'expliquer les phénomènes constatés, mais également de les prédire de manière déductive et non pas inductive.

commutabilité

Piaget utilise ce terme pour caractériser une propriété commune à toutes les conservations, qu'elles soient logico-arithmétiques, géométriques ou physiques. Lorsqu'une partie d'un objet ou d'une collection est déplacée pour être ainsi ajoutée à un autre endroit ou à un autre rang de cet objet ou de cette collection, cette partie est simultanément enlevée à la place de départ, d'où l'invariance quantitative (logique, mathématique ou physique) de cet objet ou de cette collection. Une telle propriété qui apparaît évidente à l'adulte ne s'impose en aucun cas à l'enfant d'un certain niveau de développement cognitif. Un des aspects les plus intéressants des recherches sur les mécanismes de construction poursuivies au cours des années 70 est précisément d'avoir montré quels sont les obstacles que le sujet doit dépasser, et quelles sont les mises en relation qu'il doit effectuer, pour atteindre la commutabilité. Ajoutons que, selon Piaget, cette propriété est parente de celle de commutativité propre à certaines opérations logiques, mathématiques ou physiques (pour lesquelles il revient au même de les composer dans un certain ordre, ou dans l'ordre inverse) ; d'où le nom donné par lui à cette notion.

constructivisme épistémologique

Par constructivisme épistémologique, nous entendons dans cet ouvrage l'ensemble des thèses épistémologiques formulées par Piaget et ses collaborateurs, thèses résultant de leur étude génétique (psychogénétique ou historique) de la succession des connaissances empiriques et rationnelles chez l'enfant et dans la science. A la dif-



férence du constructivisme psychologique (mais aussi d'ailleurs du constructivisme sociologique), le constructivisme épistémologique est avant tout attaché à la question de l'origine épistémologique des connaissances humaines, ainsi qu'à celle de la nature des rapports que les connaissances qui se manifestent à différentes étapes de la psychogenèse ou de l'histoire sont susceptibles d'entretenir entre elles. Le prototype par excellence du constructivisme épistémologique se manifeste dans le contexte de l'étude de la genèse des connaissances mathématiques (y compris celles qui peuvent se manifester à des étapes antérieures à l'avènement d'une science mathématique au sens le plus étroit du terme). Cette étude conforte en effet la double idée que ces connaissances sont construites par le sujet, et que l'enchaînement des constructions successives manifeste un ordre non quelconque d'intégration du dépassé dans le dépassant. En un mot, le constructivisme épistémologique tel qu'il résulte des études d'épistémologie génétique (et de leur recours aux méthodes psychogénétique et historique) est un constructivisme au sens particulièrement fort du terme qui implique une vocation générale (une progression) dans la succession des connaissances (ou au moins de certaines d'entre elles) au fil de la psychogenèse ou de la sociogenèse des individus constructeurs de ces savoirs.

Notons encore qu'une version plus faible (et plus générale) du constructivisme épistémologique se réduit à la thèse selon laquelle les connaissances quelles qu'elles soient sont toujours une construction des sujets. Comme la thèse constructiviste entendue en son sens le plus strict, la thèse générale s'oppose ainsi aux deux autres thèses traditionnelles des théories de la connaissance, selon lesquelles la connaissance est soit un reflet dans le sujet des formes et des propriétés d'un objet (conception empiriste), soit au contraire entièrement contenue dès le départ dans l'esprit du sujet (ou l'organisation biologiquement prédéterminée du cerveau), quand bien même elle ne se révélerait que progressivement au cours du développement de l'enfant ou de l'histoire de l'humanité. Enfin, comparée au constructivisme au sens le plus large, la conception piagétienne peut être qualifiée de constructivisme génétique, dans la mesure où elle concerne la genèse de structures ou de systèmes cognitifs qui se succèdent de manière à ce que les nouveaux systèmes se construisent à partir des anciens, par abstraction réfléchissante et généralisation constructive.

constructivisme psychologique

Bien qu'étroitement lié au constructivisme épistémologique, le constructivisme psychologique (auquel fait pendant le constructivisme historique ou sociologique) complète le précédent par l'intérêt prioritaire qu'il accorde non plus à l'origine épistémologique des connaissances et aux rapports que ces connaissances qui se succèdent dans l'histoire de l'humanité ou dans la psychogenèse entretiennent les unes avec les autres, mais aux mécanismes par lesquels se réalise cet enchaînement constructif des connaissances (ou dans le cas le plus général, par lesquels se construit toute connaissance). Il va de soi que ces deux formes de constructivismes ne sont pas indépendantes, puisque l'une (la forme épistémologique) est condition de l'autre, et que la seconde (la forme psychologique) permet de conforter la thèse épistémologique, ainsi que d'apporter des éléments permettant d'éclairer la nature de l'emboîtement relatif des connaissances les unes dans les autres.



coordonateur

La notion de coordonateur a été pour la première fois employée, à la suite d'une suggestion de Grize, par Piaget et ses collaborateurs du CIEG lors des recherches sur l'épistémologie des fonctions (au sens mathématique de « fonction »). Ces recherches ont mis en évidence la présence chez l'enfant préopérateur (entre 4 et 7 ans environ) d'une logique élémentaire (et incomplète) des fonctions étroitement attachée aux schèmes orientés de l'action, en tant que ceux-ci introduisent un début d'ordre dans les objets ou modifient un objet (le font passer d'un état de départ à un état d'arrivée, états entre lesquels une relation fonctionnelle est alors établie). La notion de coordonateur apparaît dès lors comme un développement de cette attention portée aux schèmes et à leurs modalités générales de fonctionnement en tant que sources à la fois des correspondances et des morphismes, mais aussi des transformations opératoires (aussi bien celles réalisées par les opérations logico-mathématiques du sujet que celles attribuées par celui-ci à la réalité physique afin de l'expliquer). Quatre coordonateurs de base sont ainsi associés à des modalités générales de fonctionnement des schèmes : 1. au mécanisme de l'assimilation reconnaîtive à un schème correspond le coordonateur I appelé identificateur ; 2. à l'assimilation reproductrice, le coordonateur W, ou répéteur ; 3. le coordonateur C de substitution (qui à une certaine étape de développement deviendra coordonateur de permutation, ou permutateur) découle de la façon dont un objet peut être substitué à un autre lors du fonctionnement d'un schème (par exemple, saisir un plot en lieu et place d'un autre lors de la construction d'une tour), et correspond donc à l'assimilation généralisatrice ; 4. enfin le quatrième coordonateur de base est l'associateur, B, qui apparaît dès lors qu'un schème associe deux objets au minimum (par exemple lorsqu'il s'agit d'ordonner des objets). Les quatre coordonateurs précédents ont ceci de remarquable qu'ils correspondent par ailleurs aux opérateurs principaux de la logique combinatoire de Curry (c'est-à-dire de l'une des grandes voies – aux côtés de celles des fonctions récursives, des machines de Turing, des systèmes de production, etc. – adoptées en métamathématiques pour capturer la notion de calculabilité). C'est la raison pour laquelle Grize a suggéré de s'appuyer sur cette théorie de portée très vaste et fondamentale pour modéliser la pensée logico-mathématique du jeune enfant.

coordination inférentielle

Les coordinations inférentielles, qui relèvent de la pensée et des implications signifiantes et non pas de l'action en son aspect matériel et causal, dépassent le champ des observables. Elles font intervenir des notions (telles que celle de transitivité) ou des croyances non tirées de l'expérience (bien que susceptible d'expliquer de manière opératoire les phénomènes physiques, comme c'est le cas, par exemple, pour les notions de force ou d'élan). Les coordinations inférentielles sont construites par abstraction réfléchissante à partir des coordinations logico-mathématiques entre actions, puis entre opérations. Elles ne portent pourtant pas directement sur les actions et les opérations du sujet, ou sur les opérations que celui-ci attribue au réel en vue d'expliquer les phénomènes perçus, mais sur les significations qu'ont pour le sujet ces actions et ces opérations. Notons aussi que les coordinations inférentielles peuvent intervenir soit dans le guidage des actions ou des opérations du sujet engagé dans une



tâche, ou dans l'explication de ses échecs et de ses réussites, soit dans l'explication d'observations physiques.

coordination entre actions

Les coordinations générales (ou logico-mathématiques) entre actions (regrouper des objets, les déplacer, ordonner des actions ou des objets, coordonner des moyens et des fins, coordonner dans le temps et dans l'espace des mouvements du corps propre, etc.) sont construites à partir de coordinations organiques ou des sources organiques du comportement. Les formes logico-mathématiques que renferment ces coordinations générales de l'action, et que le sujet ignore, tout au moins dans les premières étapes de son évolution intellectuelle, occupent une place centrale dans le constructivisme épistémologique de Piaget, puisqu'elles fournissent une base réelle aux constructions de la pensée logico-mathématique, et assurent par là l'adéquation la plus générale de cette pensée avec la réalité qui la précède et en laquelle elle s'enracine.

dialectique

La dialectique, dont la notion remonte aux philosophes grecs, désigne initialement l'art d'argumenter, de raisonner. En conduisant autrui (ou une partie de soi-même) à admettre telle ou telle thèse d'abord non crue ou laissée en suspens, la pensée manifeste une progressivité, une capacité de mouvement, et éventuellement même de dépassement des contradictions qui peuvent lui être inhérentes, que laisse échapper la logique formelle classique. Après avoir porté, dans un premier temps, son attention théorique avant tout aux formes équilibrées de la pensée, et avoir tout au plus considéré les étapes conduisant à ces formes comme composées d'actions insuffisamment regroupées et coordonnées entre elles, Piaget, avec l'aide de ses collaborateurs du CIEG, en est arrivé à considérer les significations mêmes traitées par le sujet au cours de sa confrontation avec les objets, avec autrui, ou encore avec lui-même. C'est dans ce contexte que la dialectique lui paraîtra correspondre à l'aspect inférentiel du mécanisme d'équilibration. Comment le sujet se débrouille-t-il avec les lacunes et les contradictions auxquelles le conduisent certaines caractéristiques de sa pensée préopératoire (et notamment le primat du but sur les moyens, ou de manière très générale des affirmations sur les négations dû, précisément, au caractère orienté de sa pensée) ? L'étude détaillée des progressions de pensée qui accompagnent le processus d'équilibration révèle la présence chez l'enfant (mais on pourrait généraliser ce constat à l'adulte confronté à des problèmes pour lesquels il n'a pas de solution donnée) d'un certain nombre de processus de dépassement qui ne se limite pas à celui, célèbre, de dépassement des contradictions auquel s'était arrêté Hegel : thèse, antithèse, synthèse. Les lacunes ou les contradictions peuvent être levées par des processus de mises en relations entre sous-systèmes dont l'aboutissement est à chaque fois un système d'opérations interdépendantes pour le sujet qui les utilise et les considère. On remarquera d'ailleurs qu'une fois la pensée opératoire construite, la résolution d'un problème ne se fait plus forcément, et même plus généralement, par la voie d'un processus dialectique. Des solutions peuvent être trouvées (ou créées) sans que le cheminement qui y conduise ne manifeste aucune des contradictions réelles (c'est-à-dire liées à un déséquilibre structurel des affirmations et des négations)



que l'on découvre chez le jeune enfant (ou chez l'adulte confronté à un domaine pour lequel il ne possède pas encore de notions opératoires adéquates, et qui manifeste alors un déséquilibre similaire de pensée). En d'autres termes, la portée des mécanismes constructifs révélés par l'épistémologie et la psychologie génétiques est plus étendue que celle des mécanismes dialectiques au sens hégélien de dépassement des contradictions, puisqu'il existe des constructions ne procédant pas forcément par un mécanisme quelconque de dépassement des contradictions. La définition de la dialectique telle qu'elle résulte des études de psychologie génétique qui lui ont été consacrées permet donc tout à la fois de préciser la nature, plus riche que prévue, des mécanismes dialectiques accompagnant les progrès de la pensée, et de limiter la portée beaucoup trop générale que Hegel et ses successeurs ont attribuée aux contradictions réelles et à leur dépassement dans le fonctionnement de la pensée.

empirisme

L'empirisme est l'une des grandes théories classiques de la connaissance. Il repose sur le postulat épistémologique selon lequel toutes les connaissances résultent de l'expérience. Chaque rencontre d'un individu avec son milieu imprime la forme du second sur l'organe des sens du premier (le milieu en question peut être interne à l'individu), ce qui assure une correspondance parfaite entre les connaissances et les propriétés du milieu.

Cette conception est sans doute l'une des plus anciennes théories de la connaissance, mais ce sont surtout les philosophes britanniques des XVII^e et XVIII^e siècles qui l'ont systématisée pour s'opposer au rationalisme classique. Contrairement à des auteurs comme Descartes ou Leibniz, qui avaient tendance à sous-estimer l'importance de l'expérience pour la science, ces philosophes, dont Locke et Hume, ont mis au premier plan cette dernière en tendant alors à ignorer l'apport du sujet dans l'acquisition des connaissances. Kant, Brunschvicg, Piaget et d'autres rejeteront quant à eux l'alternative raison ou expérience en soutenant que la science est le fruit d'une nécessaire synthèse entre raison et expérience.

épistémologie génétique

Cette nouvelle discipline créée par Piaget au début des années 20 se caractérise par l'utilisation qu'elle fait des méthodes de la psychologie génétique et de l'histoire des sciences, voire de l'ethnologie, pour résoudre des problèmes portant sur l'origine, la nature ou la valeur des connaissances humaines (aujourd'hui on peut ajouter l'éthologie génétique, ou étude phylogénétique des comportements, aux disciplines que Piaget avait en vue dans les années où il a créé l'épistémologie génétique). Les problèmes traités peuvent être soit très généraux (par exemple la nature ou l'origine des connaissances mathématiques en général), soit plus spécialisés (par exemple, la signification de telle ou telle notion mathématique ou physique).



équilibration majorante

L'équilibration majorante est le processus d'ensemble évoqué par Piaget pour expliquer la progression des connaissances et des structures logico-mathématiques qui leur donnent leur valeur rationnelle. Ce processus, qui met en œuvre des mécanismes tels que ceux de l'abstraction réfléchissante et de régulation, est une « équilibration » dans la mesure où il permet de dépasser des déséquilibres structurels constatés dans le fonctionnement des actions puis de la pensée, et qui peuvent se traduire chez le sujet par des sentiments de lacune ou de contradiction.

L'équilibration majorante porte son action sur différentes dimensions de l'action et de la vie cognitive, ou peut du moins être considérée en fonction de l'une ou l'autre de ces dimensions, celles-ci étant liées entre elles. Elle peut porter sur les rapports entre totalité et parties, ainsi que sur les rapports entre parties ; sur les rapports entre l'assimilation et l'accommodation dans le fonctionnement des schèmes ; ou encore sur les rapports entre les processus de différenciation et d'intégration eux aussi liés au fonctionnement des schèmes. A chaque fois un déséquilibre de l'un ou l'autre des pôles en présence peut se traduire par des effets particuliers chez le sujet et l'inciter à mettre en œuvre des comportements tendant à l'annuler ou à le dépasser. L'équilibration majorante procède ainsi sur deux plans : l'un très général ayant trait aux systèmes cognitifs internes au sujet et à leurs rapports, l'autre relié au fonctionnement psychologique du sujet, en d'autres termes au sujet psychologique. Il y a ainsi une complémentarité entre les explications épistémologique et psychologique (ou, plus généralement, anthropologique) du progrès des connaissances.

facteurs de développement

Bien que pour Piaget l'essentiel du travail de construction ou de reconstruction des connaissances revienne au sujet épistémique et psychologique, ou, en d'autres termes, à l'équilibration majorante et aux processus constructifs qui lui sont associés (abstraction réfléchissante, généralisation constructive, etc.), il n'en admet pas moins la présence nécessaire de facteurs extérieurs au sujet : la maturation biologique (dont on ne doit pas oublier qu'elle détermine de manière plus ou moins importante les apprentissages des sujets), l'expérience physique, les interactions sociales, avec les processus d'éducation et de transmission qui s'y attachent. Notons que si Piaget attribue un rôle explicatif central à l'équilibration, cela résulte non seulement de ce que tout processus d'apprentissage passe par l'individu apprenant et construisant (et dans lequel s'incorpore le sujet épistémique) ; mais aussi et peut-être surtout parce que, en ce qui concerne les connaissances logico-mathématiques tout au moins, c'est dans ces connaissances elles-mêmes que réside la raison ultime de leur progression (rôle des lacunes ou des déséquilibres cognitifs, qui transcende la distinction individu-société).

Parmi les facteurs relevant de la transmission sociale, disons quelques mots encore du facteur scolaire. Piaget ne nie en rien son rôle, même si par goût personnel et en fonction des problèmes épistémologiques et psychologiques qu'il se posait, il n'avait pas besoin de le développer (pas plus qu'il n'a conduit de recherches sur les effets de l'hérédité biologique sur la psychogenèse de l'intelligence). Un sophisme devrait être en tout cas évité, que l'on ne cesse pourtant de retrouver dans certaines des



critiques récentes adressées à la conception piagétienne. De ce que Piaget a affirmé (visant une certaine école) que « ce qu'on enseigne à l'enfant on l'empêche de le découvrir », on ne peut valablement conclure qu'il affirme, en conséquence, qu'il ne faut rien enseigner aux enfants ! La preuve que l'enseignement et plus généralement la transmission sociale sont nécessaires, Piaget la donne lui-même en remarquant, à tort ou à raison, que, sur le plan des explications physiques, l'enfant d'aujourd'hui est plus avancé que ne l'était Aristote quelques siècles avant notre ère. Bien sûr le sophisme sur lequel se basent ces critiques reflète une part de vérité. Il est vrai que, comme bien des pédagogues de l'école active, Piaget a toujours insisté sur l'importance de laisser le plus possible d'autonomie à l'enfant dans la construction de ses connaissances. Ce faisant, il prenait effectivement le risque que ce conseil soit pris à la lettre et que l'on conçoive l'éducation des enfants comme une pure auto-construction de petits Robinson ne coopérant que pour construire des normes communes de vie sociale (puisque de ce côté-là, tout le monde reconnaît l'insistance de Piaget sur le rôle de la coopération dans la construction d'une morale universelle). Mais à insister lourdement, comme le font bien des pédagogues et des psychosociologues contemporains, sur le facteur de transmission de connaissances existantes chez les adultes ou les aînés entourant tout enfant en développement, on risque de favoriser le retour généralisé du « modèle de l'entonnoir » (même si l'on soutient par ailleurs avec la psychologie génétique classique que l'on ne peut enseigner n'importe quoi à n'importe quel enfant quel que soit son niveau de développement). Il est évident qu'une école « équilibrée » sera une école qui articule de la manière la plus fine le facteur extérieur de transmission et le facteur intérieur d'équilibration cognitive, en faisant par ailleurs place aux interactions indispensables des sujets entre eux et avec les différents mondes qui les entourent (physique, biologique, psychologique, social).

généralisation empirique (inductive)

La généralisation empirique, ou plus précisément inductive, est le procédé qui, donné un certain nombre de constats, en tire une loi empirique et qui ne comporte aucune nécessité rationnelle (le nombre de constats peut être petit, et même se réduire à un seul). L'exemple classique est celui lié à la couleur des cygnes. De ce que tous les cygnes rencontrés jusqu'à ce jour par telle ou telle personne sont blancs, cette personne en « déduira » que tous les cygnes le sont. Face à l'échec résultant du constat de l'existence d'un cygne noir, le processus de généralisation prendra une tournure nouvelle. Le concept empirique sera modifié de telle manière que la couleur blanche ne sera plus considérée comme une propriété inhérente aux cygnes. La modification généralisatrice du concept (ou de la compréhension de la notion de cygne) ne résulte alors pas d'un facteur interne à celui-ci (besoin de cohérence plus grande, etc.) mais des constats empiriques réalisés quant à l'extension de l'ancien concept. Le processus de généralisation empirique est donc une forme essentiellement exogène d'enrichissement des connaissances qui, utilisé en liaison avec les opérations de classification, peut aboutir à des systèmes de classification sophistiqués, tels que ceux édifiés par l'histoire naturelle (classification des êtres vivants).

Cette forme de généralisation, qui intervient sans cesse à tous les niveaux de l'activité psychologique, trouve son origine première dans le caractère foncièrement généralisateur de tout schème, cela dès le niveau inférieur du développement cognitif.



Partant du « principe » que tout objet lui est assimilable, tout schème activé tendra en effet à assimiler le nouveau au connu, et à fournir ainsi au nouvel objet qui se présente (ou dont le sujet attend qu'il se présente) la signification correspondant à ce schème (pour autant naturellement que celui-ci ait la priorité sur les autres schèmes simultanément activés et qui travaillent alors « en sourdine »). A un niveau supérieur de développement, un principe plus ou moins explicité pourra servir de prémisse au passage inductif du « quelques » au « tous » : lorsqu'un objet (ou une situation) peut être classé dans une même espèce qu'un autre mieux connu, on peut supposer, jusqu'à preuve du contraire, qu'il partage avec celui-ci la totalité de ses propriétés que le sujet lui reconnaît comme « essentielles ».

Notons aussi que, dès un certain niveau de développement cognitif tout au moins, la généralisation empirique est un processus étroitement lié à l'abstraction empirique. Pour généraliser une propriété telle que la couleur blanche des cygnes, il faut commencer par avoir abstrait cette couleur de l'ensemble des cygnes rencontrés jusqu'à ce jour (quant au concept empirique de cygne alors utilisé et qui guide l'attente généralisatrice du sujet, il est le résultat d'un mélange des processus d'abstraction et de généralisation empiriques, ainsi que de classification logique ou prélogique¹⁵⁵). Après avoir dégagé par abstraction empirique ce qu'il y a de commun à un ensemble d'objets (par exemple la couleur blanche des cygnes rencontrés jusqu'à ce jour, mais aussi leur forme, etc.), le sujet peut être porté à généraliser ce constat et s'attendre ainsi à ce que le prochain animal rencontré qui aura la forme d'un cygne (propriété certes plus essentielle que celle de sa couleur) sera de couleur blanche.

généralisation complétive

La généralisation complétive est l'une des deux formes de la généralisation constructive aux côtés de la forme dite synthétique. Contrairement à celle-ci, qui part de structures ou de schèmes existants pour en réaliser ou en découvrir la synthèse, la généralisation complétive trouve son origine dans les lacunes internes à une structure logico-mathématique ou à un système cognitif. Pour prendre un exemple dont Piaget a pu découvrir un équivalent chez son maître Brunshvicg, le sujet est tôt ou tard confronté dans son activité arithmétique à la lacune fondamentale du système des entiers naturels qu'il construit en relation étroite avec la construction de la logique des classes et celle des relations asymétriques : alors que l'opération d'addition numérique est définie partout sur les nombres positifs progressivement construits par l'enfant, il n'en va pas de même pour l'opération de soustraction. Le sujet peut en effet de lui-même (par généralisation du schème de la soustraction) ou à la suite d'une question malicieuse d'un de ses proches (parent, camarade, maître, etc.) en arriver à se demander combien font, par exemple, $2 - 3$. Cette question a sa source dans la dissymétrie entre opérations directes et inverses inhérentes au système des entiers positifs. Cherchant à dépasser le déséquilibre ou le sentiment de lacune résultant de cette dissymétrie, il en arrivera de lui-même, ou avec l'aide d'autrui, à créer le système plus complet des entiers relatifs. Comme dans tous les cas similaires (et ils sont relativement fondamentaux et nombreux dans le domaine de la pensée ou des connaissances logico-mathématiques), le résultat de cette action de dépassement aboutira à une double généralisation caractéristique des généralisations constructives. L'extension du domaine d'objets à laquelle aboutit ce travail de généralisation est plus grande et



englobe l'extension de la structure de départ (il y a plus de nombres entiers relatifs que de nombres entiers positifs) ; et la structure à laquelle aboutit cette construction est plus riche (plus puissante) et englobe celle dont elle est une généralisation (contrairement à ce qui se passe dans le cas d'une généralisation empirique, ou le concept qui en résulte contient un nombre plus pauvre de prédicats que le concept de départ, comme l'illustre le rapport entre les concepts de vivant et d'animal).

généralisation constructive

Processus agissant en phase avec celui de l'abstraction réfléchissante, la généralisation constructive s'oppose à la généralisation empirique dans la mesure où elle aboutit à construire de nouveaux instruments cognitifs (par exemple de nouveaux concepts ou de nouvelles structures logico-mathématiques) qui non seulement couvrent un ensemble plus grand d'objets (par exemple les nombres rationnels par rapport aux nombres entiers), mais qui comportent plus de propriétés et de puissance opératoires que le concept ou la structure alors généralisés (la structure et le concept des nombres rationnels sont plus riches et non pas plus pauvres que la structure et le concept des nombres entiers, en compréhension comme en extension). On en distingue deux formes, la généralisation complétive et la généralisation synthétique.

généralisation synthétique

La généralisation synthétique est l'une des deux formes de la généralisation constructive (la seconde forme étant dite complétive). Elle est constituée des processus au cours desquels le sujet élabore de nouveaux et plus puissants instruments ou structures logico-mathématiques par assimilation réciproque entre schèmes ou entre systèmes cognitifs précédemment acquis (ou en voie de construction). Un exemple typique est la synthèse du groupement des classes et du groupement des relations asymétriques qui aboutit à la création du groupe des entiers positifs (dans cet exemple, la synthèse progresse au fur et à mesure des progrès de la construction des systèmes qu'elle réunit). Un autre exemple est celui des mathématiciens de l'école des Bourbaki qui, en étudiant des structures mathématiques connues, en ont tiré des structures plus générales englobant les premières. Ces deux exemples montrent que cette construction généralisante-synthétisante peut être conduite soit de manière spontanée, c'est-à-dire sans intention constructive de la part du sujet qui la réalise (comme c'est le cas pour la fusion des classes et des relations constitutives des nombres entiers positifs), soit de manière intentionnelle.

généralisation pseudo-empirique

La généralisation pseudo-empirique est le correspondant, par rapport à la généralisation constructive, de ce qu'est l'abstraction pseudo-empirique par rapport à l'abstraction réfléchissante. A la place de construire une structure ou un système logico-mathématique plus puissant (muni de nouvelles opérations et agissant sur une réalité mathématique plus étendue), ou simplement même une nouvelle connaissance



mathématique, en enrichissant ou en coordonnant les structures, les systèmes ou les connaissances déjà construits, le sujet découvre certaines propriétés du système (ou de la connaissance) encore à construire en généralisant empiriquement les constats faits sur une réalité reflétant certaines propriétés de ce système (ou de cette connaissance). Cette réalité (qui peut être une suite de symboles logiques ou mathématiques produite par le sujet) résulte de coordinations non opératoirement dirigées d'actions ou d'opérations appartenant à un ou des systèmes d'opérations déjà construits par abstraction réfléchissante et généralisation constructive. Pour donner un seul exemple imaginaire, élémentaire et quelque peu artificiel, un sujet pourra découvrir la loi qui à tout nombre pair fait succéder un impair (ou vice versa) non pas par réflexion et généralisation constructive à partir de la connaissance de l'addition numérique, mais par simple constat sur une suite empiriquement produite de nombres (il constatera par exemple que chaque fois qu'il ne peut pas partager une collection en deux collections égales, il suffira d'ajouter un élément à la collection de départ pour le pouvoir, et qu'au contraire si la collection de départ peut être partagée en deux égales, alors l'ajout d'un élément aboutira à une collection non partageable en deux égales).

implication entre actions

L'implication entre actions est un cas particulier d'implication signifiante. Comme son nom même l'indique, ce sont les significations des actions elles-mêmes qui sont reliées par implication signifiante (mais aussi par négation signifiante, etc.) par le sujet qui les considère. Le sujet qui réalise telle ou telle action peut savoir que celle-ci implique telle ou telle autre action. Au niveau opératoire, par exemple, le sujet sait qu'ajouter des jetons à une collection en les prenant dans une autre collection implique du même coup de les soustraire de cette autre collection. A partir de cette implication, le sujet peut procéder à un certain nombre de coordinations inférentielles qui lui permettront de déduire que l'écart entre les deux collections a changé d'une valeur correspondant à deux fois ce qui a été ainsi emprunté à l'une pour le mettre dans l'autre. Du point de vue du constructivisme génétique, l'implication entre actions occupe une fonction centrale dans la genèse des connaissances et des structures logico-mathématiques puisqu'elle assure le lien entre le rôle de base des coordinations générales des actions et la constitution de ces connaissances et structures.

implication signifiante

C'est dès ses premiers travaux en psychologie génétique que Piaget a souligné le rôle des implications signifiantes (ou entre significations) dans le fonctionnement des conduites du sujet, et ce à partir déjà du niveau de l'intelligence sensori-motrice. Pendant longtemps, cette notion lui a également permis d'opposer ou de mettre en parallèle le plan de la pensée au sens le plus large (qui inclut les implications signi-

¹⁵⁵ Par prélogique, il ne faut pas entendre une absence de logique, mais une forme de logique antérieure à celle manifestant des caractéristiques opératoires, c'est-à-dire reposant sur les opérations logiques réversibles dégagées par la psychologie génétique classique.



fiantes liées aux comportements sensori-moteurs) avec le plan des actions qui, en leur matérialité, entrent dans la chaîne des processus causaux. Bien qu'occupant ainsi une place centrale dans l'approche piagétienne de la réalité psychologique, la notion d'implication significative n'a pendant longtemps pas été sérieusement considérée dans les travaux sur les logiques de l'enfant et de l'adolescent. La raison en est simple. Ces travaux ont avant tout porté sur la capacité des sujets à traiter l'extension des concepts ou des relations (par exemple la capacité d'additionner ou de soustraire des classes ou des relations asymétriques), ou de composer les propositions selon leur valeur supposée de vérité. Bien entendu, en fins psychologues, Piaget et ses collaborateurs ne sont jamais tombés dans le piège d'étudier les capacités de traitement logique des classes, des relations ou des propositions dans des situations ou à propos d'objets n'ayant aucune signification pour les enfants et adolescents interrogés. Mais ils ont simplement mis entre parenthèses le traitement des significations en tant que tel, pour centrer leur attention sur les opérations additives, soustractives, multiplicatrices, etc., des classes, des relations et des propositions. Les travaux conduits ultérieurement sur les explications causales des enfants, puis sur leurs capacités de prise de conscience et de conceptualisation de leurs propres actions et des réalités avec lesquelles ils interagissaient, ainsi que probablement aussi la levée d'un certain nombre d'interdits méthodologiques empruntés à l'ancienne psychologie du comportement, ont permis au contraire de rendre de plus en plus prégnantes les activités logiques de traitement des significations dans les conduites du sujet. Certes les actions et les opérations continuent à déployer leurs effets structurants sur les réalités auxquelles celui-ci se confronte ou qu'il construit ; mais parallèlement ou en étroite relation avec elles, on voit le sujet les accompagner et les diriger en fonction des significations qu'il leur attribue, ainsi que des significations également attribuées aux objets sur lesquels elles portent. La question qui n'a alors pas manqué de se poser est celle de la genèse et des caractéristiques des « opérations » (implication, négation, etc.) portant non plus directement sur des objets extérieurs (avec bien sûr la signification qui est naturellement la leur), ou sur des propositions dont n'est retenue que la valeur supposée de vérité, mais sur les significations elles-mêmes. Même lacunaires, les enquêtes psychogénétiques sont de ce point de vue parvenues à mettre en lumière l'existence de formes précoces d'implications significatives (et de formes précoces de négations, de disjonctions, etc., portant sur les significations), comparativement à l'apparition des implications liées aux opérations logiques portant sur les classes, les relations ou les (valeurs de vérité des) propositions.

Trois formes d'implications entre significations ont par ailleurs été dégagées lors de ces enquêtes : 1. l'implication rétroactive ou conditionnante : le sujet reconnaît les conditions nécessaires et suffisantes d'une réussite ; 2. l'implication proactive ou amplifiante, qui porte sur les conséquences prévues d'une action ; et enfin 3. l'implication justificatrice (la plus avancée) qui produit les raisons de la réussite d'une action.

innéisme

À l'origine, l'innéisme est la doctrine soutenant l'existence d'idées innées, c'est-à-dire non acquises, de quelque façon que ce soit, par le sujet. Cette thèse s'est généralisée de deux manières. Premièrement, ce ne sont plus seulement les idées qui peuvent être



jugées innées, mais aussi des comportements. Ensuite, le développement de la biologie a entraîné la différenciation de deux formes d'innéisme, l'une qui prolonge le sens classique et que l'on peut qualifier de philosophique ou d'intellectuelle, l'autre qui renvoie à la notion d'innéité biologique. Alors que, par exemple, l'innéisme philosophique soutiendra que les axiomes logiques (le principe de non-contradiction, etc.) sont des idées innées à l'esprit humain, l'innéisme biologique affirmera qu'un tel axiome est d'une manière ou d'une autre déterminé par le patrimoine héréditaire que le sujet reçoit de ses parents.

intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est une discipline scientifique se donnant pour double but de réaliser des machines capables de comportements intelligents et de développer une théorie générale et différenciée de l'intelligence, valable autant pour l'être humain que pour ces machines.

morphisme

Nous nous appuyons ici sur la définition de morphisme proposée par L. Chambadal dans son Dictionnaire de mathématique (Hachette, 1978).

Soit deux objets mathématiques (par exemple deux ensembles) E et F dont chacun est muni d'une loi ou d'un opérateur de composition (disons dans l'ordre « . » et « † »). Une application f de E dans F est un morphisme lorsque, pour tout couple (x,y) de E, $f(x.y) = f(x)†f(y)$. En d'autres termes, l'image du composé de x et de y est égale à la composition dans F des images de x et de y par f.

Du point de vue de l'épistémologie génétique, en plus d'être des objets mathématiques qui soulèvent, comme tout autre objet scientifique, des questions proprement épistémologiques, les morphismes sont d'abord liés à des comportements observables chez le sujet en certaines étapes de son développement cognitif. Ils apparaissent dès que ce sujet est capable de mettre en correspondance des ensembles de relations. Les recherches épistémologiques ont conduit à mettre en évidence quatre niveaux de morphismes chez le sujet : 1. prémorphismes (ou correspondances prétransformationnelles), 2. morphismes intertransformationnels, 3. morphismes cotransformationnels, et enfin 4. morphismes protransformationnels. La première forme consiste à mettre en rapport un objet et ses relations internes avec un autre objet et ses relations, mais sans exhaustivité et sans stabilité de cette mise en correspondance ; la seconde forme consiste à mettre en relation deux transformations ; dans la troisième forme, le morphisme résulte directement de la transformation (par exemple, le morphisme de successeur engendré par l'opération numérique $n + 1$) ; enfin dans la quatrième forme, un calcul opératoire sur les morphismes permet de produire de nouvelles formes avec les relations qui les réunissent, sans que le sujet ne réalise les opérations composant ces formes les unes avec les autres.



nécessité logico-mathématique

Par nécessité logico-mathématique, Piaget entend non pas – sinon accessoirement – le sentiment de nécessité pouvant accompagner le fonctionnement de la pensée logico-mathématique (sentiment qui, à un certain niveau, peut s'avérer trompeur et lié à la présence de pseudo-nécessités), mais cette forme de nécessité liée au fonctionnement d'une structure opératoire (ou d'un sous-ensemble de cette structure) dans lequel ou pour laquelle chaque opération et chaque relation est reliée, directement ou non, aux autres opérations et relations de la structure selon des lois logiques et mathématiques stables (existence d'inverses assurant la réversibilité de la pensée, loi d'associativité, etc.).

Résultant d'une généralisation constructive et d'une intégration réussie qui, à partir d'une structure logico-mathématique acquise, en élaborent une nouvelle, obéissant à des lois ou manifestant des propriétés mathématiques plus riches que la structure de départ, la nécessité logico-mathématique attachée à ces systèmes devient de plus en plus riche et contraignante, dans le sens où les liaisons implicatrices entre notions et opérations de chaque nouvelle structure deviennent de plus en plus nombreuses, tout en intégrant généralement celles des systèmes qui la précèdent.

Enfin, un des résultats des recherches sur l'évolution du nécessaire est de montrer la présence, au cœur de l'activité intellectuelle, d'un processus de « nécessité » par lequel le sujet cherche à rendre compte (à expliquer ou à comprendre le pourquoi et le comment) d'un phénomène, ou d'une régularité logico-mathématique.

opération

Du point de vue de la psychologie génétique, les opérations sont des activités par lesquelles le sujet organise en pensée et en acte la réalité concrète (il classe ou ordonne les objets de cette réalité), la transforme (en agissant sur les propriétés spatiales ou physiques de ces objets), l'explique (en attribuant à cette réalité des opérations dont les lois de composition sont similaires aux lois de regroupement de ses opérations), ou encore par lesquelles le sujet organise et compose les opérations précédentes au moyen desquelles il agissait sur la réalité concrète.

Piaget distingue différentes familles d'opérations, les unes portant sur le discret, d'autres sur l'infralelogique, d'autres encore sur ces deux premières familles d'opérations. Les deux premières familles constituent le domaine des opérations concrètes (elles portent sur la réalité concrète); la troisième famille porte sur le domaine des opérations formelles (formel signifiant alors ici que les contenus sur lesquels portent les opérations concrètes ne sont pas les objets sur lesquels portent les opérations de cette troisième famille, bien qu'ils puissent être, et qu'ils soient généralement, impliqués par cette activité au second ou au *n*ème degré que sont les opérations sur des opérations, ou sur les relations entre contenus produits par des opérations concrètes ou formelles).

Notons enfin que les opérations attribuées par le sujet à la réalité extérieure en vue d'expliquer les transformations dont elle est l'objet peuvent refléter les lois des regroupements d'opérations formelles aussi bien que celles qui concernent les opérations concrètes.



phénoménisme

En philosophie, le phénoménisme consiste à ne concevoir comme réel que le monde des phénomènes, et plus précisément le monde des apparences sensibles. En psychologie génétique, le phénoménisme est l'un des traits de cette « mentalité enfantine » que Piaget a étudiée au début de ses recherches en psychologie génétique. Le phénoménisme a été également découvert sur le plan de l'action, lors des toutes premières étapes de la construction de l'objet permanent chez le bébé. Chez celui-ci comme un peu plus tard, sur le plan de la pensée, chez le jeune enfant, le phénoménisme consiste alors en cette façon spontanée qu'ils ont de confondre l'existence des choses avec leur apparence, sans considération des rapports objectifs qui lient les unes aux autres les différentes facettes de l'expérience (la tétine du biberon est confondue avec son apparence, de telle sorte qu'il suffit qu'elle ne soit plus perçue pour qu'elle n'existe plus pour le bébé).

possible

De toutes les recherches d'épistémologie génétique considérées dans cet ouvrage, celle consacrée à l'évolution des possibles chez l'enfant est peut-être celle qui manifeste le mieux l'attention portée par le Piaget des dernières années au caractère créateur de l'activité intellectuelle du sujet, et particulièrement de l'enfant (caractère créateur qui s'apparente à cette inventivité inépuisable de formes que l'on trouve dans la réalité biologique, dont on a le sentiment qu'elle aussi, comme le sujet, explore toutes les ouvertures possibles qui s'offrent à elle). Non seulement en effet ces recherches confirment la thèse très tôt soutenue selon laquelle la différenciation du réel, du possible et du nécessaire, ainsi que leur coordination corrélative, sont l'une des caractéristiques majeures des progrès de la pensée ; mais elles montrent aussi, et surtout, comment l'ouverture sur de nouveaux possibles, l'attention portée aux possibles rendus possibles par une action ou une situation, sont deux des moteurs les plus puissants du fonctionnement et de la progression de la pensée, aux côtés de cet autre moteur d'orientation contraire qu'est la recherche du nécessaire, ou le processus de nécessitation qui lui correspond. Ces deux moteurs, l'ouverture ou l'attention aux possibles et la recherche de nécessité, sont en quelque sorte la systole et la diastole du fonctionnement cognitif du sujet ; mais à la différence du mouvement rythmé du cœur, ils se traduisent par ce double mouvement de différenciation et d'intégration qui accompagne les progrès de l'abstraction réfléchissante et de la généralisation constructive.

Enfin, rappelons deux autres résultats intéressants des recherches sur l'évolution du possible. Le premier est la mise en évidence d'un certain nombre d'étapes dans les formes de possibles apparaissant au cours du développement. Lors d'une première étape on trouve les possibles « analogiques » : l'enfant peut engendrer de manière limitée de nouveaux possibles en prenant appui sur une situation ou un objet qu'il vient de percevoir ; lors d'une seconde étape on trouve les co-possibles concrets, liés au début des opérations concrètes (le sujet peut par exemple concevoir différentes possibilités en ce qui concerne la forme d'un triangle) ; lors d'une troisième étape, les co-possibles abstraits (le sujet peut produire par variations intrinsèques l'ensemble des possibles liés à une opération concrète) ; enfin viennent les co-possibles quel-



conques, en nombre illimité, liés à l'apparition des opérations formelles (soit à la capacité du sujet de ce stade de concevoir un univers des possibles qui dépasse tout entendement fini, et de concevoir le réel comme un possible réalisé dans l'univers illimité des possibles réalisables).

Quant au second résultat, qui confirme la sorte de dépassement d'un Piaget essentiellement intéressé par les questions d'équilibre vers un Piaget de plus en plus admiratif devant le pouvoir créateur illimité de la pensée (et que confirment les limitations du formalisme en métamathématique), il consiste dans la thèse selon laquelle, contrairement à ce que l'on aurait pu attendre du primat toujours accordé aux opérations logico-mathématiques sur les autres composantes de la vie mentale, c'est moins l'évolution de ces opérations qui explique celle, parallèle, des possibles, que l'inverse. Cela tient à ce que ces opérations ne sont qu'un îlot, certes important du point de vue de la raison humaine, dans le fonctionnement d'une pensée qui les déborde très largement (bien qu'en retour la pensée opératoire soit capable d'engendrer des idéalités mathématiques qui dépassent infiniment la portée du réel, pensée comprise).

prédicat

Tel qu'il est utilisé dans les recherches sur les formes élémentaires de la dialectique ou sur la logique des significations, un prédicat est une composante logique d'un concept ou d'une notion (un concept étant réciproquement le produit d'une composition de prédicats). Le concept empirique de pomme peut ainsi inclure le prédicat « couleur » ou le prédicat « forme ». Par ailleurs la signification attachée par le sujet à un objet enfermera elle aussi les prédicats du concept sous lequel tombe cet objet, ou d'autres prédicats reconnus dans cet objet qui, composés alors entre eux, permettront de construire un nouveau concept empirique. Une telle attribution de signification se produit dès le niveau de l'intelligence sensori-motrice (avec l'assimilation d'un objet à un schème). On a alors affaire, sinon à des prédicats au sens étroit (liés à la construction des jugements), du moins à des équivalents de prédicats. Sur le plan proprement discursif, la recherche psychogénétique mettra en évidence des niveaux variés dans les modes de composition des prédicats chez les enfants.

préopération

Bien que l'usage du terme « préopération » soit peu fréquent chez Piaget, la notion qu'il désigne est importante. Les préopérations sont des actions logiques ou mathématiques (il faudrait écrire « prélogiques » et « prémathématiques »), intériorisées ou non, caractérisées par le fait qu'elles ne sont pas encore regroupées en structures assurant leur réversibilité logique. Regroupées de manière adéquate, elles deviendront ces opérations logiques, arithmétiques, spatiales, etc., que Piaget a décrites dans ses multiples travaux de psychologie génétique.

Une préopération ne peut pas être strictement qualifiée de logique, d'arithmétique, de spatiale, etc., dans la mesure où la notion que s'en fait le sujet contient des composantes appartenant à une catégorie autre (par exemple l'enfant qui ajoute un élément à une collection figurale peut considérer de manière indifférenciée des caracté-



téristiques qui relèvent tout à la fois de l'arithmétique, de l'espace et de la logique des classes).

prise de conscience

Contrairement à l'usage courant du terme, pour lequel la prise de conscience se limite à projeter en quelque sorte sur la scène de la conscience – ou à « éclairer » – une quelconque réalité jusqu'alors non consciente, la prise de conscience est pour Piaget une activité ou une conduite qui, comme toute autre, transforme l'objet sur laquelle elle porte.

Cette dimension constructive de la prise de conscience a été très bien mise en évidence dans les recherches réalisées à son sujet au début des années 70. Un enfant qui agit de manière à atteindre le but qu'il s'est fixé ne prend pas pour autant adéquatement conscience, sur le plan de la conceptualisation, de la façon dont il a procédé. La prise de conscience dépend des schèmes d'assimilation conceptuelle utilisés par lui pour décrire sa propre action.

Bien qu'aucune recherche n'ait été réalisée à d'autres niveaux du développement cognitif, il est vraisemblable que des processus similaires de prise de conscience s'y retrouvent, y compris sur le plan de l'intelligence sensori-motrice.

procédure

Une procédure est une suite empiriquement coordonnée d'actions, de conservation plus ou moins durable selon sa valeur pratique dans la résolution des problèmes auxquels est confronté un sujet. L'apparition de cette notion en psychologie génétique se rattache spécialement aux recherches d'Inhelder, de Cellérier et de leurs collaborateurs sur la résolution de problèmes chez l'enfant. Cette notion provient à l'origine des travaux en intelligence artificielle, et plus lointainement encore, des études sur le fondement des mathématiques (machines de Turing, systèmes de production, etc.). Alors que sur le plan de l'intelligence artificielle et de la métamathématique les procédures sont des chaînes déterminées d'opérateurs, sur le plan psychologique leur labilité est bien plus grande.

régulation

Commençons par rappeler une définition de Piaget qui a l'intérêt de rappeler l'usage ancien de cette notion chez lui :

« Nous appelons régulations les compensations partielles dues aux décentrations qui tendent à modérer les déformations inhérentes à chaque centration. La régulation est donc engagée sur la voie de la réversibilité et constitue bien l'intermédiaire entre l'assimilation déformante (centration) et l'assimilation opératoire » (Le développement des notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant, p. 170).

De manière plus générale, une régulation est un processus spécialisé grâce auquel un système (ou un sous-système) finalisé tend à atteindre l'un de ses états d'équilibre.



L'équilibre visé peut être « statique », comme la température d'un organisme vivant, ou dynamique, comme une succession régulière et canalisée d'états (en ce dernier cas, le réglage peut porter, par exemple, sur la vitesse de transformation d'un état à un autre). Empruntée aux constructeurs de machines cybernétiques, cette notion de régulation dont Piaget fait un emploi massif dans toute son œuvre, et tout spécialement dans les travaux dans lesquels il se penche sur les progressions de l'action et de la pensée, apparaît ainsi comme l'une des plus importantes catégories élaborées par la science du XIX^e et du XX^e siècle pour rendre compte du fonctionnement des organisations vivantes et des réalités psychologiques et sociologiques qui s'y attachent. Elle est l'une des notions de base qui permettent de distinguer le règne de la vie (y compris les artefacts construits par les organismes intelligents) du règne de la matière et de l'énergie, support du premier. La régulation permet en effet de distinguer la causalité circulaire que l'on trouve au sein de la matière, de la causalité cybernétique, également circulaire, que l'on trouve à l'œuvre au sein de la vie et qui fait intervenir la notion de finalité. Il n'y a de régulation que par rapport à une fin ou un but. Elle est le processus qui, étant donné une fin, agit sur les actions ou les moyens permettant de l'atteindre de telle manière que le but fixé soit atteint.

En plus de la distinction que Piaget a de son côté été amené à faire entre trois niveaux de régulations (les régulations alpha, qui consistent à écarter simplement l'obstacle, les régulations beta, qui consistent à compenser les effets inattendus d'une action au moyen de l'activation de l'action contraire, et les régulations gamma, qui consistent à contrecarrer par avance les possibles effets négatifs d'une action ou d'une opération), l'intérêt des recherches de la fin des années 60 et des années 70 sera par ailleurs de montrer l'existence de régulations automatiques ou spontanées, qui échappent au sujet, et de régulations « actives » qui sont au contraire explicitement engagées par le sujet dans son effort d'atteindre un but. Rappelons enfin que le niveau gamma de régulations est lié à la construction des opérations logico-mathématiques qui, selon Piaget, sont des « régulations parfaites » en ce que, précisément, elles sont l'aboutissement de l'activité d'abord automatique (infrapsychologique) puis empirique de régulations au moyen desquelles le sujet agit sur ses propres actions pour aboutir au but qu'il se fixe.

schème

La notion de schème, que l'on trouve déjà chez Kant et chez Bergson, est l'une des plus importantes de la conception piagétienne des activités psychologiques. Elle est riche de significations que les esquisses de définition proposées en divers ouvrages de l'œuvre de Piaget n'expriment pas complètement.

La définition la plus simple, mais aussi la plus réductrice, est celle identifiant le schème au « canevas des actions répétables », ou à « l'ensemble structuré des caractères généralisables d'une action », ou enfin « la structure commune qui caractérise une classe d'actions équivalentes » (ces formules sont extraites de l'article « schème » du Dictionnaire d'épistémologie génétique de A. Battro). Cette première définition rapproche le schème de la notion informatique d'organigramme. Elle permet de capturer l'ordre logico-mathématique inhérent à toute activité psychologique, mais elle laisse échapper la dimension biologique ou cybernétique des entités visées par Piaget dans ses diverses recherches.



Le schème est en effet non seulement une structure, mais aussi un « organe » réalisant des actions matérielles, logico-mathématiques, psychologiques, etc., finalisées sur les objets de sa « niche écologique ». Pour prendre un exemple dans la classe des conduites sensori-motrices, le schème de la succion est la totalité psycho-biologique organisée qui permet à un enfant de s'alimenter physiquement au début de sa vie. Outre son incorporation biologique, ce schème, comme tout autre, comprend aussi bien des savoir-faire que des savoirs, une dimension motivationnelle et affective qu'une dimension cognitive.

La psychologie génétique a mis en lumière un grand nombre de familles de schèmes accomplissant des fonctions variées (organisation de l'univers de l'action, organisation de l'univers de la pensée, organisation des relations interpersonnelles, schèmes de contrôle ou de régulation, etc.). A ce jour il n'existe pourtant que des ébauches d'une systématique raisonnée de ces entités et d'établissement d'une théorie des schèmes. Piaget a par exemple montré comment, lors de son fonctionnement, un schème tend à assimiler les éléments de son milieu en leur fournissant du même coup leur signification fonctionnelle, et s'adapte ou s'accommode à leurs particularités. Dans son étude de 1936 sur la naissance de l'intelligence, il a également montré comment des schèmes peuvent se différencier, généraliser leur champ d'application, se coordonner en des organes supérieurs d'assimilation et de transformation matérielles et logiques des objets auxquels ils s'appliquent, etc. Mais il reste beaucoup à faire pour que nous ayons une idée plus exhaustive et précise de l'organisation d'ensemble des schèmes propres aux êtres vivants, autant aux différentes étapes de l'évolution des espèces qu'aux différentes étapes de développement des individus de ces espèces.

structure opératoire

Commençons par rapporter la définition très claire donnée par Piaget dans son petit ouvrage sur Le structuralisme : « Une structure est un système de transformations qui comporte des lois en tant que système (par opposition aux propriétés des éléments) et qui se conserve ou s'enrichit par le jeu même de ses transformations, sans que celles-ci aboutissent en dehors de ses frontières ou fasse appel à des éléments extérieurs. En un mot, une structure comprend ainsi les trois caractères de totalité, de transformations et d'autoréglage » (pp. 6-7).

« Structure opératoire » s'entend dans deux sens liés l'un à l'autre. Il s'agit d'abord du groupement ou du groupe particulier d'opérations résultant d'un processus d'équilibration cognitive, au terme duquel sont regroupées des actions réelles ou de pensée appartenant à une même famille épistémologique (le temps, l'espace, le nombre, les propositions, etc.). Il s'agit ensuite des propriétés mathématiques qu'acquièrent ces regroupements lorsqu'ils atteignent une composabilité interne qui explique les propriétés de stabilité et de réversibilité de la pensée lorsque, par exemple, elle est confrontée au problème d'organiser de manière cohérente les activités dans l'espace et dans le temps de l'organisme qui la supporte.

Il est remarquable que l'intelligence d'un organisme se manifeste par des propriétés de groupement de ses opérations au moins partiellement isomorphes aux propriétés que les mathématiciens ont détectées dans des structures telles que celle des nombres entiers (associativité, existence d'un inverse pour toute composante du groupe, etc.).



sujet épistémique

Du point de vue de l'épistémologie génétique, la notion de sujet épistémique, très abstraite, caractérise cette part du fonctionnement cognitif – commune à tous les sujets d'un certain niveau de développement – constitutive des notions au moyen desquelles la réalité est organisée, transformée ou expliquée. Il est le centre du fonctionnement cognitif, ou plutôt le système cognitif dans sa totalité, abstraitement détaché des composantes non proprement cognitives de ce fonctionnement, telles que la capacité d'attention, la plus ou moins grande part d'activité consacrée à une tâche, etc.

Pour le dire d'une autre manière, la notion de sujet épistémique est ce qui permet à Piaget d'éviter le piège du réductionnisme psychologique et de rendre compte de la genèse des notions scientifiques élémentaires et savantes, non pas fondamentalement à partir de facteurs psychologiques extracognitifs, mais à partir de la connaissance elle-même, telle qu'elle est construite au sein du sujet individuel (ou d'un groupe de sujets).

Le sujet épistémique est ainsi, en un sens, inclus dans le sujet psychologique (ou dans un groupe de sujets en interaction), dont il constitue une partie ; mais d'un autre côté il le dépasse puisque la psychologie des sujets individuels n'a, en principe, rien à voir dans la construction des connaissances (y compris préscientifiques). Dans les faits, il est bien évident que les facteurs psychologiques non cognitifs ou non épistémiques interviennent. Une personne intéressée par un certain champ cognitif aura tendance à être plus active par rapport à celui-ci, et donc à construire davantage de notions associées à ce champ. Mais si l'on s'intéresse à la construction de ces notions et non pas à la psychologie de l'individu, alors la seule chose qui importe, au fond, est l'ensemble des notions préalablement acquises par le sujet, ainsi que les mécanismes cognitifs généraux qui engendrent une nouvelle notion et qui, dans l'hypothèse de l'épistémologie génétique, sont communs à tous les sujets de connaissance.

sujet psychologique

Alors que le sujet épistémique est une abstraction dans la mesure où cette notion couvre la partie du sujet psychologique qui le fait participer à l'universalité propre aux connaissances, et qui lui donne à chaque étape de son développement les instruments apriori (en un sens kantien élargi) d'assimilation des réalités naturelles, le sujet psychologique est constitué de la totalité de l'individualité psychologique. Cette totalité, en plus de comporter des composantes affectives et motivationnelles absentes du sujet épistémique en tant qu'épistémique, est également caractérisée par toute l'histoire personnelle de l'individu, histoire qui seule expliquerait par exemple pourquoi un individu A supposé partager un bagage de schèmes cognitifs de même niveau de compétence qu'un autre individu B, et supposé aussi être identique à B du point de vue de l'affectivité et de la volonté, ne procéderait pas de la même façon que cet autre individu pour résoudre un problème de part en part identique. Bien que Piaget se soit toujours gardé de traiter cette question, ajoutons quelques mots sur les rapports entre sujet psychologique et sujet conscient. Selon nous, excepté lors d'états men-



taux particuliers (comme le somnambulisme étudié en son temps par le psychologue P. Janet), le sujet conscient est le centre de fonctionnement du sujet psychologique, quand bien même il pourrait ne pas avoir conscience des mobiles profonds de l'une ou l'autre de ses activités. En définitive, l'une des tâches majeures que la psychologie et l'épistémologie génétiques ont encore à résoudre est celle de coordonner ces différentes notions du sujet, à nouer les fils liant sujet épistémique, sujet psychologique, sujet conscient, en ayant par ailleurs à l'esprit ce que la philosophie réflexive nous enseigne sur le sujet transcendantal (et en tenant compte de ce que la biologie et les neurosciences nous apprennent, en ce qui concerne la part de prédétermination qui sous-tend le psychologique et le cognitif, ainsi qu'en tenant compte des déterminations inconscientes de la vie psychologique). Chacune des disciplines concernées a certes en vue des « réalités » au moins partiellement différentes. Mais s'il est vrai que la connaissance n'est pas indépendante du sujet qui la constitue, et si inversement celui-ci dépend au moins en partie de cette connaissance qu'il construit progressivement tout au long de sa psychogenèse (en interaction avec le monde physique et avec autrui), il paraît impossible que l'esprit humain, toujours en quête d'explorer les possibles ouverts par chaque configuration de savoirs, laisse de côté ce problème de coordination des différents éclairages apportés à l'ancienne question socratique, revue à la lumière des réflexions de Platon et d'Aristote : qui sommes-nous, nous, êtres de raison, de science et d'amitié, mais aussi de déraison, d'ignorance et de violence ?









Bibliographie

- Battro A. (1966), Dictionnaire d'épistémologie génétique. Dordrecht-Holland : D. Reidel Publishing Company.
- Bergson H. (1907), L'évolution créatrice. Paris : Alcan.
- Bourbaki N. (1970), Théorie des ensembles. Paris : Hermann.
- Brunschvicg L. (1897), La modalité du jugement. Paris : Alcan.
- Brunschvicg L. (1912), Les étapes de la philosophie mathématique. Paris : Alcan.
- Chambadal L. (1978), Dictionnaire de mathématiques. Paris : Hachette.
- Desanti J.-T. (1968), Les idéalités mathématiques. Paris : Seuil.
- Ducret J.-J. (1984), Jean Piaget, savant et philosophe. Les années de formation. Genève : Librairie Droz (2 vol.).
- (1990), Jean Piaget. Biographie et parcours intellectuel. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- (1996) « Epistémologie des sciences cognitives », Confrontations psychiatriques, 37, n° spécial sur « Epistémologie et psychiatrie », pp. 219-239.
- Ducret J.-J., Grzeskowiak M. et Perruchoud A., avec la collaboration de G. Albers, de K. Klaué et de R. Zübel (1997), Jean Piaget. Cheminements dans l'œuvre scientifique (CD-Rom pour Macintosh et PC). Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- Hume D. (1748), Essai sur l'entendement humain.
- Inhelder B., Cellérier G. et coll. (1992), Le cheminement des découvertes de l'enfant. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- Inhelder B. et Piaget J. (1948), La représentation de l'espace chez l'enfant. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- Inhelder B. et Piaget J. (1955), De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent : essai sur la construction des structures opératoires formelles. Paris : Presses Universitaires de France.
- Kant E. (1968), Critique de la raison pure. Trad. française par A. Tremesaygues et B. Pacaud, 6^e impression. Paris : Presses Universitaires de France.
- Montangero et Maurice (1994), Piaget ou l'intelligence en marche. Liège : Mardaga.
- Piaget J. (1936), La naissance de l'intelligence chez l'enfant. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- (1937), La construction du réel chez l'enfant. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.
- (1945), La formation du symbole chez l'enfant : imitation, jeu et rêve, image et représentation. Paris : Delachaux et Niestlé.
- (1946), Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant. Paris : Presses Universitaires de France.
- (1949), Traité de logique : essai de logique opératoire. Paris : A. Colin.
- (1952), Essai sur les transformations des opérations logiques. Paris : Presses



Universitaires
de France.

– (1950), Introduction à l'épistémologie génétique. Paris : Presses Universitaires de France (3 vol.).

– (1967), Biologie et connaissance. Paris : Gallimard.

– (1968) Le structuralisme. Paris : Presses Universitaires de France (collection Que sais-je ?).

– (1968), Epistémologie de la fonction (Etudes d'épistémologie génétique ; 23). Paris : Presses Universitaires de France.

– (1975), L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement (Etudes d'épistémologie génétique ; 33). Paris : Presses Universitaires de France.

– (1976), Le comportement moteur de l'évolution. Paris : Gallimard (Idées).

Piaget J. et coll. (1974), Recherches sur la contradiction (Etudes d'épistémologie génétique ; 31, 32). Paris : Presses Universitaires de France (2 vol.).

– (1974), La prise de conscience. Paris : Presses Universitaires de France.

– (1974), Réussir et comprendre. Paris : Presses Universitaires de France.

– (1976), Le comportement moteur de l'évolution. Paris : Gallimard.

– (1977), Recherches sur l'abstraction réfléchissante (Etudes d'épistémologie génétique ; 34, 35).

Paris : Presses Universitaires de France (2 vol.).

– (1978), Recherches sur la généralisation (avec un chapitre de G. Henriques). (Etudes d'épistémologie génétique ; 36). Paris : Presses Universitaires de France.

– (1980), Recherches sur les correspondances (Etudes d'épistémologie génétique ; 37). Paris : Presses Universitaires de France.

– (1980), Les formes élémentaires de la dialectique (avec une postface de R. Garcia). Paris : Gallimard, 1980.

– (1981-1983), Le possible et le nécessaire. Paris : Presses Universitaires de France (2 vol.).

Piaget J. (éd., 1967), Logique et connaissance scientifique (Bibliothèque de la Pléiade). Paris : Gallimard.

Piaget J. et Gréco P. (1959) Apprentissage et connaissance. (Etudes d'épistémologie génétique ; 7). Paris : Presses Universitaires de France.

Piaget J. et Garcia R. (1983), Psychogenèse et histoires des sciences. Paris : Flammarion.

Piaget J., Garcia R. et coll. (1987), Vers une logique des significations (avec une préface de B. Inhelder). Genève : Muriende.

Piaget J., Ascher E., Henriques G. et coll. (1990), Morphismes et catégories. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.

Piaget J. et Inhelder B. (1959), Genèse des structures logiques élémentaires. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.



Dernières publications du SRED

Dans la collection «Cahiers du SRED»

N^o 1: DUCRET J.-J. & JAGASIAN N.

La ligne du temps
Enquête psychologique.
Mai 1998. 92 pages.
ISBN 2-940238-00-6.

N^o 2: LURIN J. & SOUSSI A.

La littératie à Genève
Enquête sur les compétences des adultes
dans la vie quotidienne.
Septembre 1998. 182 pages.
ISBN 2-940238-01-4.

N^o 3: Textes rassemblés par LURIN J.
& NIDEGGER C.

Expertise et décisions dans les politi-
ques
de l'enseignement
Actes du colloque de Penthes, février
1998.
Janvier 1999. 180 pages.
ISBN 2-940238-02-2.

N^o 4: Sous la direction de HUTMACHER W.

Culture religieuse et école laïque
Rapport du groupe de travail explora-
toire
sur la culture judéo-chrétienne à l'école.
Mars 1999. 164 pages.
ISBN 2-940238-03-0.

N^o 5: VUILLE M. & GROS D.

Violence ordinaire
Juin 1999. 228 pages.
ISBN 2-940238-04-9.

N^o 6: Voyage dans un espace multidimension-
nel

Textes réunis en l'honneur de Daniel
Bain.
Novembre 1999. 150 pages.
ISBN 2-940238-05-7.



Dans la collection «Documents de travail»

SAADA E.H.

Ecole primaire genevoise, bilinguisme précoce et contexte interculturel
Juillet 1999, 28 p.

ARCARO C. (dir. RASTOLDO F.,
coll. MARINA DECARRO N.)

Le dixième degré des élèves de 9^e
(volées 96-97 et 97-98)
Situation, en juin 1998/1999, des élèves ayant
terminé la 9^e du Cycle d'orientation en juin
1997/1998.
Août 1999, 50 p.

RASTOLDO F. & HEXEL D.

Découvrir une formation
Entretiens avec des élèves à propos des stages
de découverte des secteurs professionnels
(stages FOI courts).
Novembre 1999, 22 p.

BAIN D., FAVRE B., HEXEL D., LURIN J.

Le débat genevois dans le contexte national
et international: pratiques et recherches.
Février 2000, 82 p.

Dans la collection «Documents statistiques»

BAERTSCHI C.

Les coûts unitaires en éducation
Aspects méthodologiques.
Octobre 1998, 50 p.

SECTION DE STATISTIQUES

Mémento statistique de l'enseignement
et de la formation à Genève
Edition 1999. Juin 1999, 33 p.

BARRO M. S.

Indicateurs des finances et des ressources
de l'éducation à Genève
Une évaluation préliminaire. Document bilin-
güe
français-anglais. Juillet 1999, 43 p.

WASSMER P.-A.

Ressources humaines et financières du DIP
Données générales et approche par l'activité.
Septembre 1999, 94 p.
Les plus récents documents ci-dessus sont disponibles sur le site Internet du SRED(<http://agora>.

SECTION DE STATISTIQUES

Annuaire statistique de l'enseignement public
et privé à Genève, édition 1999
Année scolaire 1998-1999.
Septembre 1999, CD-Rom.

© SRED 2000
Service de la recherche en éducation
12, quai du Rhône - 1205 Genève
Tél. (022) 327 57 11 - Fax (022) 327 57 18
<http://agora.unige.ch/sred>

Contact : Jean-Jacques Ducret
jean-jacques.ducret@etat.ge.ch

Responsable de l'édition: Narain Jagasia
narain.jagasia@etat.ge.ch

Photo de couverture : Ioanna Berthoud
Graphisme: Sophie Jaton
Impression: SRO-Kundig S.A.

Imprimé à Genève en mai 2000
ISBN 2-940238-06-5

Jean Piaget 1968-1979 : Une décennie de recherches sur les mécanismes de construction cognitive

Aboutissement d'une longue enquête portant sur la totalité de l'œuvre piagétienne, cet ouvrage a pour finalité principale de faciliter l'accès à l'ultime série de recherches psychogénétiques conduites par Jean Piaget dans le cadre du Centre international d'épistémologie génétique (-CIEG-) de 1968 à 1979. Faisant suite aux nombreuses études consacrées à l'évolution des connaissances logico-mathématiques et physiques, tant chez l'enfant que dans l'histoire des sciences, ces recherches ont porté sur les mécanismes de construction cognitive par lesquels est finalement éclairé et justifié le constructivisme épistémologique.

Le lecteur trouvera dans cet ouvrage un condensé et une présentation critique des onze livres rapportant les résultats de ces recherches. Il pourra aussi y découvrir comment, en plus de cerner ces mécanismes (-prise de conscience, dépassement dialectique des contradictions, abstraction réfléchissante, etc.-), ces ultimes recherches révèlent la propre ouverture d'esprit de Piaget qui conduit à une conception révisée, plus équilibrée, des rapports entre état et transformation dans le fonctionnement de l'intelligence humaine, ainsi qu'entre signification et action dans l'explication de ce fonctionnement et de son évolution.