



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

**INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT**



Valorisation Intensive des
énergies Renouvelables dans
l'Agglomération GENEVOISE

Métabolisme agricole franco- valdo-genevois

Etat des lieux et synthèse

**réalisé pour la Direction de l'Agriculture du Département du Territoire
de la République et Canton de Genève**

Carouge, le 26 juin 2009

Jérôme FAESSLER

David GALLAY

Bernard LACHAL

Groupe Energie, Site Battelle, bâtiment D - 7 route de Drize - CH-1227 Carouge

Tél. 022 379 06 48 - Fax 022 379 06 39 - www.unige.ch/energie

Remerciements

Nous tenons à remercier les différentes personnes ayant contribué à ce rapport :

- Tous les agriculteurs des installations visitées, qui pour des raisons de confidentialité, ne peuvent être nommés ici, mais qui se reconnaîtront ;
- Les différents spécialistes contactés, notamment :
 - M. Baladou, office central vaudois de la culture maraîchère
 - MM. Blondin et Mourrut-Salesse, Union Maraîchère de Genève
 - M. Charvet, Laiteries Réunies de Genève ;
 - MM. Contin, Veyrat et Weirich, chambre d'agriculture de Haute-Savoie ;
 - M. Delorme, chambre d'agriculture de l'Ain ;
 - M. Donzallaz, Administration fédérale des douanes ;
 - M. Dugon, Agrigenève ;
 - M. Erdin, Union Suisse des Paysans
 - M. Guignard, Cercle des Agriculteurs ;
 - M. Mastrullo, Mandaterre SARL ;
- Le bureau SOFIES, et notamment Mme Carvalho, pour la transmission des informations liées à l'étude « écobilan du vin et de la tomate »
- La direction générale de l'agriculture, et plus spécialement les membres du comité de pilotage, Mme Bertone, MM. Viani, Fernandez et De Montmollin, pour leurs éclairages, leur disponibilité et leurs apports constructifs ;
- M. Erard, directeur d'AgriGenève, pour ses éclairages, sa disponibilité et ses apports constructifs ;
- L'équipe du Groupe Energie de l'Université de Genève.

Liste des abréviations

AFVG : Agglomération Franco-Valdo-Genevoise

AGRIDEA : Association suisse pour le développement de l'agriculture et l'espace rural
(anciennement service romand de vulgarisation agricole)

ALP: Agroscope Liebefeld-Posieux

ART: Agroscope Reckenholz Tänikon

DT : Département du Territoire

DGA : Direction Générale de l'Agriculture du DT

EPR : Efficacité Photosynthétique Réalisée

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation

FTH : Force de Traction Horaire

FVG : Franco-Valdo-Genevois

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

MF : Matières Fraîches

MS : Matières Sèches

MJ : Méga Joules

MOH : Main d'œuvre Horaire

OFAG : Office Fédéral de l'Agriculture

PI : Production Intégrée

PER : Prestations Ecologiques Requises

SAU : Surface Agricole Utile

SFKDB : base de donnée Souci-Fachmann-Kraut

SIG : Services Industriels de Genève

SITG : Système d'Information du Territoire Genevois

UGB : Unité de Gros Bétail

UMG : Union Maraîchère de Genève

USP : Union Suisse des Paysans

VIRAGE : Valorisation Intensive des énergies Renouvelables dans l'Agglomération Genevoise

Définitions

Biocarburant : carburant issu de matériaux organiques renouvelables

Energie : capacité d'un système à produire un travail entraînant un mouvement, de la lumière ou de la chaleur.

Energie brute (*Gross Energy*) : correspond au PCS selon la définition de la FAO

Energie grise : quantité d'énergie nécessaire à la production et au transport des matériaux ou des produits industriels. C'est l'énergie « cachée » des produits ou des matériaux.

Energie métabolisable (ME) : correspond à l'énergie réellement métabolisée par l'Homme en tenant compte des pertes dans les sels et l'urine. Cette énergie est généralement calculée avec le facteur général d'Atwater

Facteur d'Atwater : facteur développé à la fin du 19^{ème} siècle aux USA basé sur la chaleur de combustion des protéines, glucides et lipides et corrigé des pertes par les sels et l'urine. Les valeurs énergétiques retenues sont lipides = 37 [kJ/g], protéines = 17 [kJ/g], glucides = 17 [kJ/g] et alcool = 27 [kJ/g].

Pouvoir Calorifique : le pouvoir calorifique d'un matériau combustible est l'énergie thermique dégagée par la réaction de combustion avec de l'oxygène. On différencie le Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS), qui comprend l'énergie de la chaleur sensible et l'énergie de vaporisation de l'eau (chaleur latente), du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI), qui ne comprend que la chaleur sensible du matériau. Le PCI est toujours inférieur au PCS.

Puissance : quantité d'énergie par unité de temps fournie à un système. La puissance correspond à un débit instantané d'énergie

Sécurité alimentaire : la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active

Souveraineté alimentaire : la souveraineté alimentaire est définie comme le droit des peuples et des états souverains à élaborer démocratiquement leurs politiques agricoles et alimentaires

Taux d'autosuffisance : dans ce rapport, le taux d'autosuffisance alimentaire est le rapport entre l'offre brute de produits alimentaires (en denrée non transformée équivalente) et la production réelle de denrées agricoles non transformées allant dans la filière alimentaire humaine

Table des matières

Remerciements	3
Liste des abréviations	4
Définitions	5
Table des matières	6
Liste des Tableaux.....	8
Liste des Figures.....	8
Liste des Graphiques	9
Avant-Propos.....	10
Contexte	10
Objectifs	10
Résumé du rapport R3 « Agriculture et Energie : Méthodologies pour un métabolisme agricole franco-valdo-genevois (FVG) : le point de la situation ».....	11
Introduction	13
1 Méthodologie générale de l'Université de Genève	14
1.1 Schéma général de la démarche.....	14
1.2 Hypothèses implicites.....	16
1.3 Définition du Métabolisme	17
1.3.1 Métabolisme végétal et animal.....	17
1.3.2 Métabolisme humain	17
1.4 Eléments clés liés à l'énergie.....	18
1.5 Analyse des sous-systèmes	20
1.5.1 Bilans de matière	20
1.5.2 Bilans d'énergie.....	21
2 Résultats agrégés par sous-systèmes	25
2.1 Aspects qualitatifs.....	25
2.1.1 Données de Base	25
2.1.2 Limites de l'analyse	27
2.2 Aspects quantitatifs globaux.....	27
2.2.1 Grandes Cultures	28
2.2.2 Viticulture.....	29
2.2.3 Arboriculture	30
2.2.4 Maraîchage	31
2.2.5 Animaux (viande et lait).....	33

2.2.6	Prairies.....	35
3	Résultats globaux et comparaisons	37
3.1	Chiffres globaux sans élevage et avec ou sans prairies	37
3.2	Solaire métabolisé.....	40
3.3	Engrais	40
3.4	Carburants.....	40
3.5	Electricité.....	41
3.6	Chauffage.....	41
3.7	Travail humain.....	41
3.8	Energie grise	42
3.9	Energie métabolisable par l'Homme	42
3.10	Connections des schémas globaux bruts.....	42
3.11	Flux de matière et d'énergie indigène et importé	48
4	Relations avec la consommation régionale	57
4.1	Méthodes de calcul et données à disposition.....	57
4.1.1	Methodologie de la FAO.....	57
4.1.2	Suisse : USP-statistiques	58
4.1.3	France : base de donnée de l'INSEE.....	62
5	Taux d'autosuffisance régional et genevois	65
5.1	Estimation des besoins en surface	70
5.2	Indicateur évolutif de l'autosuffisance alimentaire	71
6	Conclusions	74
	Bibliographie.....	76

Annexes :

Annexe 1 : Energie grise retenue pour l'étude

Annexe 2 : Matière Sèche utilisée pour l'étude

Annexe 3 : Pouvoir Calorifique Supérieur utilisé pour l'étude

Annexe 4 : Rapport entre les surfaces totales et les surfaces d'installations visitées

Annexe 5 : Surface pour l'énergie grise des bâtiments

Annexes 6 à 26 : Hypothèses implicites de tous les systèmes analysés

Annexe 27 : Scénarios prairies FVG

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Puissance selon le type d'activité physique (ASHRAE HANDBOOK, 1989), chapter 8.....	18
Tableau 2 : hectares et UGB par région et sur le territoire franco-valdo-genevois.....	26
Tableau 3 : flux d'énergies FVG globaux sans les animaux.....	38
Tableau 4 : flux d'énergies FVG globaux sans les animaux et sans les prairies.....	39
Tableau 5 : production brute alimentaire de l'agriculture en GJ.....	57
Tableau 6 : résumé de l'offre brute pour le consommateur ((USP, 2007)).....	59
Tableau 7 : consommation de nourriture dans les ménages (FAIST EMMENEGGER M. et al., 2003).....	60
Tableau 8 : consommation en tonnes et en GJ des denrées alimentaires de Genève, de la région FVG et de la Suisse (adapté de l'USP).....	61
Tableau 9 : évolution de la consommation de produits alimentaires.....	62
Tableau 10 : taux d'autosuffisance selon la matière fraîche par filières de production de la région FVG.....	66
Tableau 11 : taux d'autosuffisance selon la matière fraîche par filières de production du canton de Genève.....	66
Tableau 12 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production de la région FVG.....	67
Tableau 13 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production du canton de Genève.....	67
Tableau 14 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production de la région FVG en enlevant l'énergie importée pour la production.....	68
Tableau 15 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production du canton de Genève en enlevant l'énergie importée pour la production.....	68
Tableau 16 : estimation des besoins en surface pour nourrir la population.....	70

Liste des Figures

Figure 1 : flux globaux du métabolisme représenté dans le rapport R3.....	12
Figure 2 : résumé schématique des comparaisons effectuées dans la suite de ce rapport.....	13
Figure 3 : schéma simplifié de l'approche développée dans ce rapport.....	14
Figure 4 : illustration de la chaîne énergétique ((LACHAL B., 2009)).....	18
Figure 5 : schéma général des bilans de matières fraîches.....	20
Figure 6 : schéma général des bilans de matières sèches.....	21
Figure 7 : schéma général des flux d'énergie.....	22

Figure 8 : schéma énergétique global des Grandes Cultures de la région FVG.....	28
Figure 9 : schéma énergétique global de la Viticulture de la région FVG.....	29
Figure 10 : schéma énergétique global de l'Arboriculture de la région FVG.....	30
Figure 11 : schéma énergétique global pour le Maraîchage de la région FVG.....	31
Figure 12 : schéma énergétique global pour le Maraîchage de la région FVG (sans les serres hors sol).....	32
Figure 13 : schéma énergétique global des Bovins et Porcs de la région FVG	33
Figure 14 : schéma énergétique global des Prairies de la région FVG	35
Figure 15 : bilan matière fraîche FVG en tonnes	44
Figure 16 : bilan matière sèche FVG en tonnes	44
Figure 17 : bilan matière fraîche du canton de Genève en tonnes	45
Figure 18 : bilan matière Sèche du canton de Genève en tonnes	45
Figure 19 : bilan Energie FVG en GJ.....	46
Figure 20 : bilan Energie du canton de Genève en GJ	46
Figure 21 : représentation simplifiée de la méthode de calcul USP pour le bilan d'énergie ...	58

Liste des Graphiques

Graphique 1 : répartition du flux de matière entrante fraîche (à gauche) ou sèche (à droite) entre la matière indigène et importée (région FVG)	48
Graphique 2 : flux d'énergie entrant indigènes et importés pour la région FVG (à gauche) et le canton de Genève (à droite).....	48
Graphique 3 : flux d'énergie indigènes et importés par sous-systèmes (région FVG)	50
Graphique 4 : répartition des flux d'énergie selon l'apport de chaque sous-système.....	52
Graphique 5 : répartition des flux d'énergie selon l'apport de chaque sous-système, en prenant en compte seulement les 18 ha de serres hors-sol de Genève	53
Graphique 6 : répartition du flux de matière fraîche (à gauche) ou sèche (à droite) sortante entre la l'alimentation humaine et la paille (région FVG)	53
Graphique 7 : flux d'énergie sortant pour la région FVG avec détail en glucides, lipides, protides (à gauche) et sans détails (à droite)	54
Graphique 8 : flux d'énergie sortant pour la région FVG avec la chaleur dissipée	54

Avant-Propos

Contexte

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet de Valorisation Intensive des énergies Renouvelables dans l'Agglomération Genevoise (projet VIRAGE), soutenu par le Département du Territoire (DT) de l'Etat de Genève. VIRAGE rassemble différents services de l'environnement et de l'aménagement ainsi que l'Université de Genève afin d'essayer de mieux cerner les potentiels, les limites et la durabilité d'un développement intensif d'énergies renouvelables dans un territoire donné.

A partir de ce cadre général et suite à un premier rapport exécuté dans le cadre de VIRAGE (rapport R3 – voir page suivante), la direction de l'agriculture (DGA) du canton de Genève a mandaté l'Université pour une étude générale sur les flux de matières et d'énergie de l'agriculture régionale. L'objectif étant de mieux cerner les grands enjeux liés à ces flux et de pouvoir mener une politique cohérente dans le cadre du projet d'agglomération franco-valdo-genevois (AFVG).

Objectifs

Les trois buts de ce rapport sont de :

- Collecter les données et estimer le métabolisme agricole FVG
- Mettre en relation les besoins alimentaires de l'AFVG avec le métabolisme agricole
- Discuter des thématiques de sécurité alimentaire, souveraineté alimentaire, autosuffisance alimentaire et politique agricole à partir des analyses précédentes

Résumé du rapport R3 « Agriculture et Energie : Méthodologies pour un métabolisme agricole franco-valdo-genevois (FVG) : le point de la situation »

L'agriculture s'est de plus en plus mondialisée lors des dernières décennies. Les échanges internationaux de produits agricoles ont fortement augmenté. Les pratiques agricoles, et notamment les conditions sociales et environnementales dans lesquels sont produites les denrées alimentaires, peuvent fortement différer selon les pays. Des experts internationaux ont récemment tirés la sonnette d'alarme pour revenir à une agriculture multifonctionnelle, durable et de qualité, privilégiant le développement économique-social local tout en permettant de préserver les écosystèmes et l'héritage culturel.

Dans ce cadre général, les pouvoirs publics et les milieux agricoles suisses favorisent une agriculture multifonctionnelle : garantir l'approvisionnement alimentaire du pays tout en préservant les écosystèmes et en favorisant la diversité biologique. Au niveau de l'AFVG et à travers le label régional « Genève Région - Terre Avenir », les autorités et les associations agricoles encouragent la souveraineté alimentaire.

Dans le rapport R3, plusieurs méthodes d'évaluations environnementales pour l'agriculture sont analysées selon de multiples critères tels que les flux d'énergie et de matière, les impacts environnementaux ou le type de données utilisées (statistiques ou réelles). Des paramètres clés fondamentaux issus de plusieurs méthodes sont déduits pour le calcul du métabolisme agricole FVG.

Les différentes évaluations environnementales ont été synthétisées et montrent toutes des avantages et des inconvénients. Les méthodes PLANETE (flux d'énergie et de matière à l'échelle d'une exploitation) et SALCA (écobilan complet permettant la comparaison entre différents systèmes d'exploitations) paraissent les plus intéressantes, mais trop lourdes pour les utiliser telles quelles. En raison des contraintes temporelles et financières de l'étude et afin de rester simple et opérationnel, il est apparu plus judicieux de s'inspirer du meilleur de ces méthodes et de se limiter à faire le métabolisme agricole FVG, c'est-à-dire une bonne analyse des flux de matière et d'énergie de l'AFVG.

Une première ébauche de ce métabolisme a été effectuée. Les résultats de ce métabolisme agricole devront être mis en relation avec les besoins alimentaires de la population locale. L'analyse des flux devrait permettre de définir, en accord avec le groupe de suivi, des indicateurs de type « taux d'autosuffisance alimentaire ». Les aspects plus sociaux et culturels d'une agriculture locale et de proximité devront aussi être pris en compte dans l'évaluation globale.

De manière schématique, les flux globaux du métabolisme agricole FVG et de la consommation alimentaire sont représentés dans la Figure 1. Les flèches vertes, bleues et orange représentent des flux de matière et d'énergie mais leur taille n'a pas de signification :

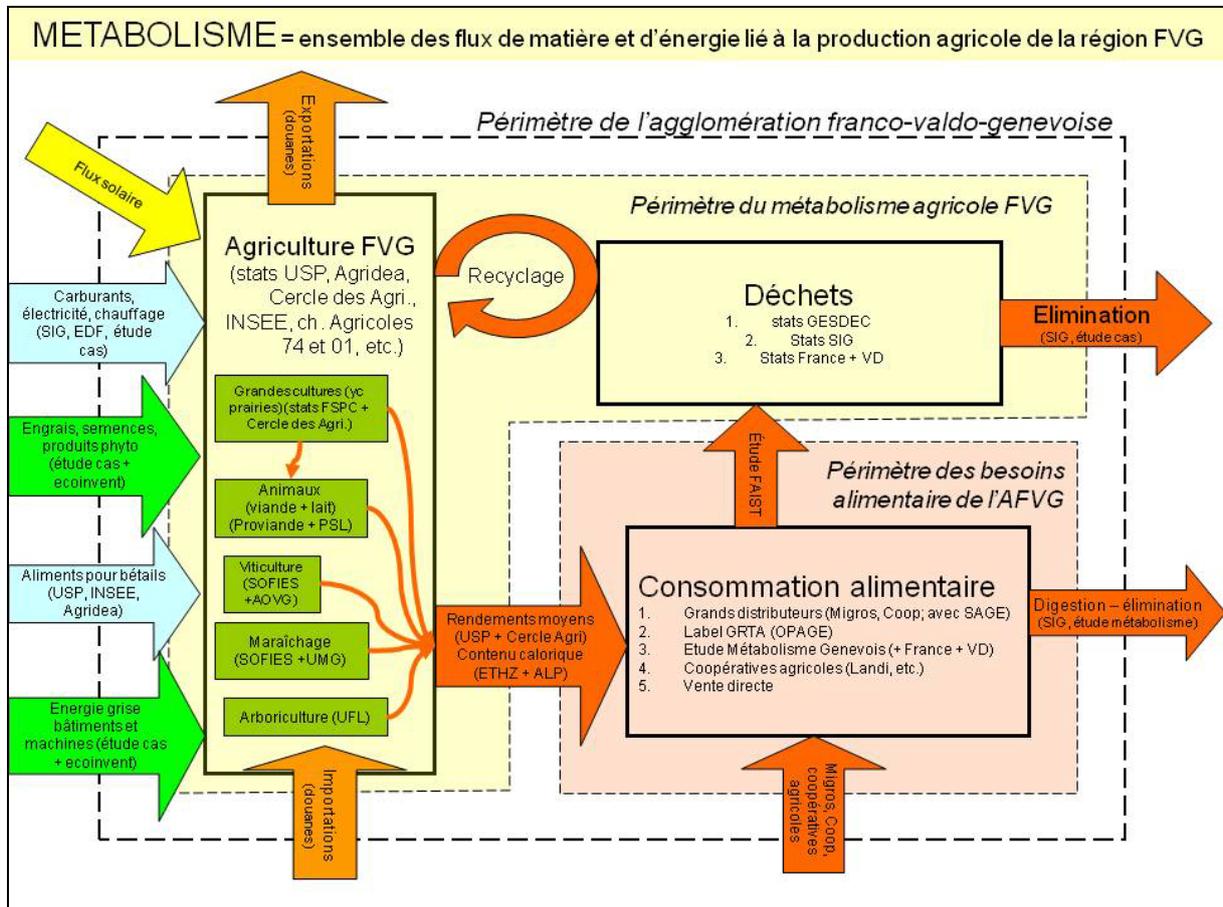


Figure 1 : flux globaux du métabolisme représenté dans le rapport R3

Introduction

Fondamentalement, l'agriculture doit produire des calories pour nourrir la population humaine. Ces calories sont issues du flux solaire arrivant sur terre et transformées en molécules complexes grâce à l'action de la photosynthèse. L'agriculture est depuis toujours intimement liée à l'énergie.

Ce rapport aimerait poser les jalons nécessaires pour développer une plus grande collaboration entre les domaines de l'énergie et de l'agriculture au niveau de l'AFVG. En effet, nous supposons que les analyses à l'aide de bilans énergétiques des cultures peuvent apporter certains éclairages aux questions des décideurs locaux pour une politique allant dans le sens du développement durable. Ceci reste bien entendu encore à discuter, notamment à l'aide de ce rapport et de ces éventuelles suites.

Après un rappel méthodologique sur la démarche générale, les hypothèses implicites et les éléments clés concernant l'énergie (chapitre 1), nous présentons les résultats selon les six sous-systèmes déterminés dans la Figure 1 (chapitre 2). Ces données nous permettent ensuite de donner quelques chiffres globaux avec des flux de matière et d'énergie pour la région. Les différences et les similitudes entre les bilans de matière et d'énergie sont expliquées et mise en évidence (chapitre 3). Dans un troisième temps, nous comparons les besoins de consommations de la région FVG avec la production brute selon la matière ou l'énergie, afin de voir les différences que cela occasionne sur le taux d'autosuffisance alimentaire régional (chapitres 4 et 5). Cela nous permettra de tirer quelques conclusions générales sur les résultats de ce métabolisme agricole FVG.

Schématiquement, nous pouvons présenter notre démarche comme suit :

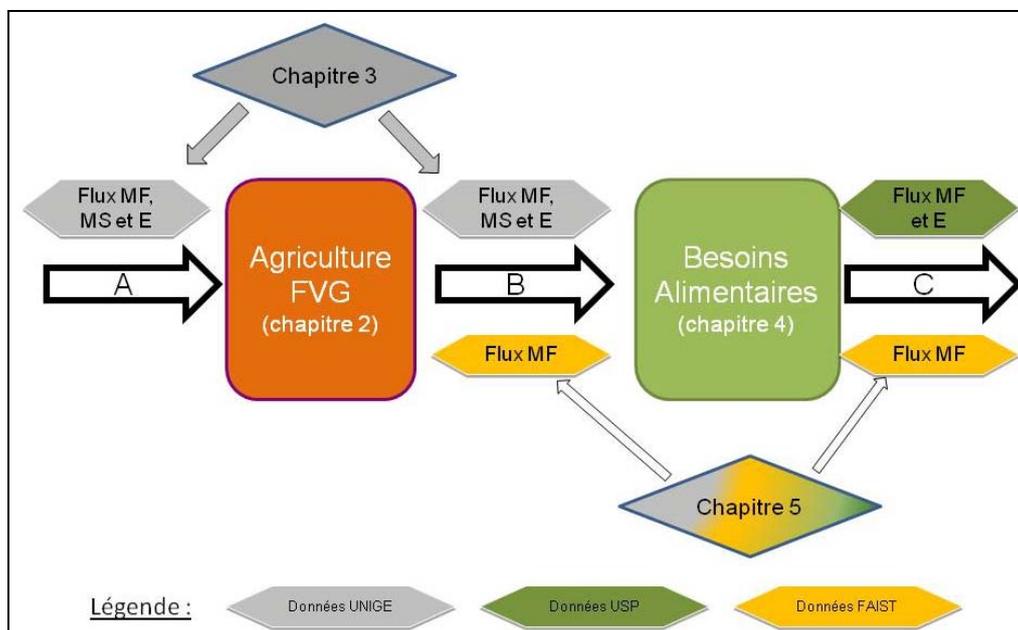


Figure 2 : résumé schématique des comparaisons effectuées dans la suite de ce rapport

Nous supposons que les bilans d'énergie ont plus de sens que les bilans de matière sur la partie entrante (flèche A) grâce au flux solaire entrant. Sur la partie sortante (flèche B), les bilans sont censés être à peu près identiques. L'intérêt de cette étude est de comparer les flèches B et C en intégrant l'énergie indigène ou non de la flèche A.

1 Méthodologie générale de l'Université de Genève

1.1 Schéma général de la démarche

Pour construire les flux de matière et d'énergie de l'agriculture franco-valdo-genevoise, nous procédons par étape simplifiée afin de pouvoir estimer les grands flux globaux. De manière générale et afin de ne pas passer à côté de certains détails importants, nous avons décidé de faire une approche ascendante (« bottom-up ») pour les flux directs régionaux puis de les valider par des experts tout en additionnant les flux indirects à l'aide de bases de données plus générales. Cette approche peut être résumée schématiquement comme suit (Figure 3) :

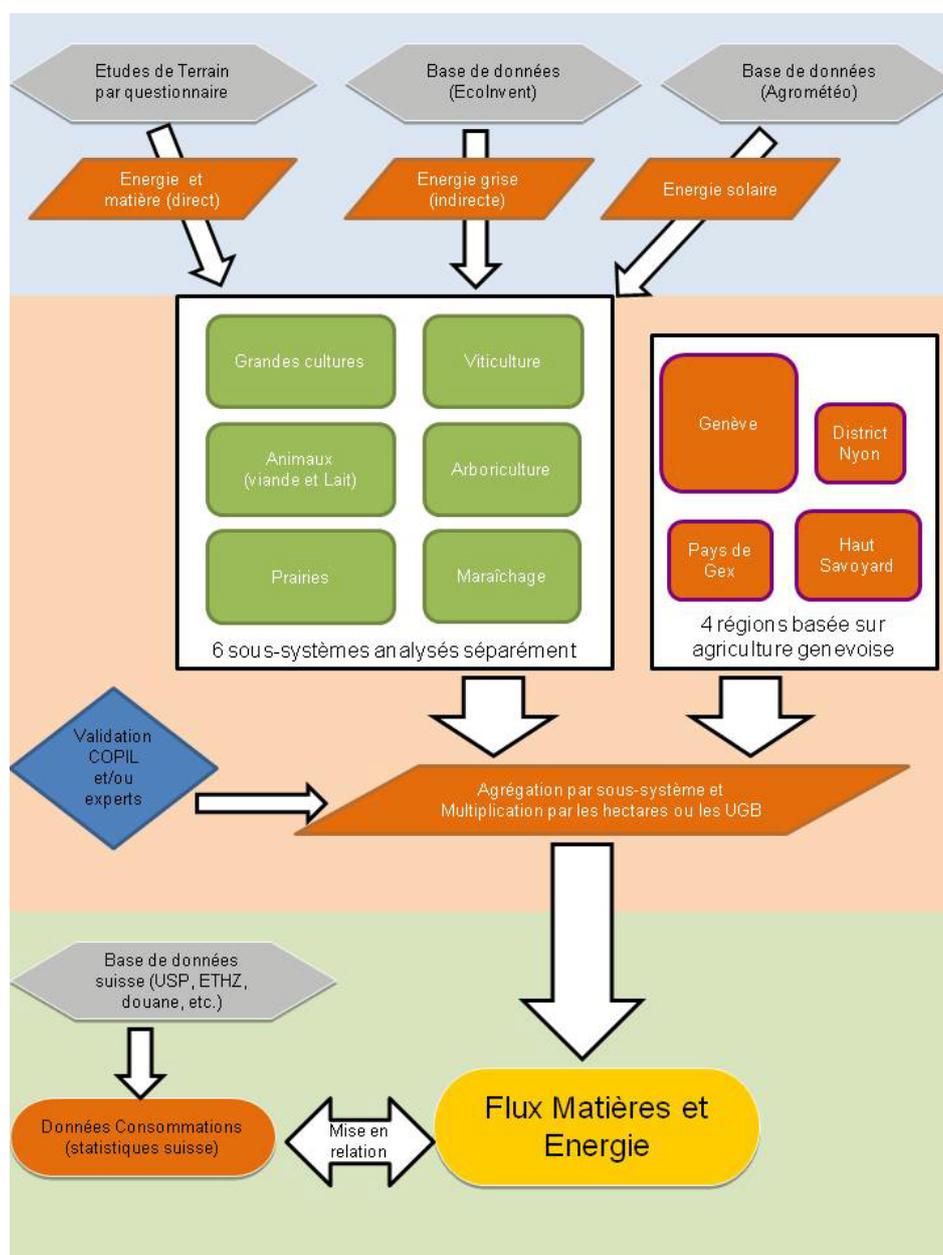


Figure 3 : schéma simplifié de l'approche développée dans ce rapport

Dans un premier temps (partie bleutée de la Figure 3), nous avons récolté des données en faisant des visites sur le terrain de différents types de production, ceci permettant de bien comprendre la réalité locale et de comptabiliser tous les flux. Des producteurs représentatifs dans chaque sous-système ont été sélectionnés en accord avec le comité de pilotage. Ces producteurs nous ont mis à disposition les différentes charges énergétiques et les différents flux de matière de leur exploitation.

Ces flux directs sont d'une part les consommations de carburants, de chauffage et d'électricité, d'autre part les quantités d'engrais, de semences, de produits phytosanitaires, d'aliments pour le bétail ou encore de tout objet servant à la production agricole (plastiques, piquets, etc.).

Pour tous les flux d'énergie grise considérés dans cette étude, la base de données Ecoinvent a été utilisée avec ses valeurs moyennes explicitées dans le rapport 15 sur l'agriculture (source = rapport 15 Ecoinvent). Lors de manque de données, d'autres sources ou des approximations ont pu être utilisées et sont systématiquement citées dans ce rapport.

Concernant l'énergie solaire incidente, le chiffre de 1000 kWh/m² par an a été utilisé pour expliciter le flux solaire naturel (www.agrometeo.ch)

Chaque sous-système est analysé en détail avec une validation auprès d'experts lorsque cela était nécessaire. Des approximations par sous-système ont été faites afin de limiter le travail de récolte de données. L'objectif était toujours d'être le plus proche possible de la réalité tout en étant conscient d'un certain nombre d'approximations nécessaires pour effectuer une étude à un niveau de méta-analyse (partie orangée de la Figure 3).

Des pointages avec les productions vaudoises et françaises ont été effectués afin de voir si les méthodes et les données étaient semblables entre les régions. Lorsque cela était possible, les pratiques culturelles ont été considérées identiques entre toutes les régions afin de multiplier chaque sous-système par les hectares associés. En cas de doute, des avis d'experts ont été demandés.

La dernière étape est la comparaison des flux de matières et d'énergie de la production agricole FVG avec les flux de consommation de la région afin d'estimer un taux d'autosuffisance alimentaire régional (partie verte de la Figure 3 ; plus de détails dans le chapitre 4).

1.2 Hypothèses implicites

Ce travail a été fait en comparant des données de terrain et des données plus globales. Un certain nombre d'hypothèses sont implicites et détaillées ci-dessous :

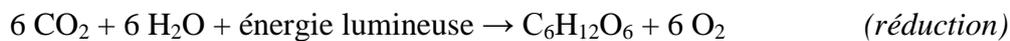
- Le métabolisme est une photographie annuelle actuelle de l'agriculture franco-valdo-genevoise avec les données à disposition (« état des lieux ») ;
- Les pratiques culturales sont considérées comme étant exclusivement celles satisfaisant aux prestations écologiques requises (PER), nécessaires pour bénéficier des paiements directs ;
- Les spécificités liées à l'agriculture biologique n'ont pas été prises en compte car les surfaces cultivées en « Bio » sont encore faibles ;
- Les installations visitées sont considérées comme représentatives de la région (taille moyenne des exploitations) ;
- La consommation des habitations des agriculteurs (chauffage et électricité) n'ont pas été considérée comme faisant partie du système de production ;
- L'horticulture (fleurs) n'est pas prise en compte car elle ne produit pas de produits consommables par l'être humain ou les animaux ;
- Lorsque les apports d'intrants n'étaient pas connus, ils ont été estimés selon l'avis d'experts ;
- Le sol est utilisé de manière durable : les stocks de matières organiques et minérales sont considérés constants en moyenne annuelle ;
- Les aspects saisonniers ne sont pas pris en compte car des moyennes annuelles sont suffisantes pour le niveau de détail de cette étude ;
- L'agriculture ne produit que peu de déchets → la plupart des flux de matière sont recyclés ;
- Avec l'analyse par sous-système, les flux de matière par sous-système et ne sont comptés qu'une fois ;
- L'eau calculée dans les bilans de matière fraîche est uniquement déduite selon le pourcentage de matière sèche des produits. Il s'agit donc de bilans nets ne contenant ni l'évapotranspiration pour les plantes ni les besoins réels totaux des animaux (bilans inutilisables pour un dimensionnement d'une porcherie par exemple).

1.3 Définition du Métabolisme

Le métabolisme est défini comme un « phénomène physiologique qui contrôle le flux de l'énergie et le cycle de la matière chez un organisme. On distingue un anabolisme, qui désigne l'ensemble des phénomènes d'assimilation, et un catabolisme qui concerne les différents processus propres à l'excrétion des déchets associés à la circulation de la matière. » ((RAMADE F., 2002)).

1.3.1 Métabolisme végétal et animal

Dans le cas des plantes, la photosynthèse permet de stocker sous forme chimique de l'énergie solaire. De manière simplifiée, nous avons estimé les flux naturels de gaz carbonique, d'oxygène et d'eau selon la formule de la photosynthèse :



Cette formule montre que le stockage chimique du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène dans la matière est effectué grâce à la lumière du soleil. De même, les autres composés essentiels tels que l'azote ou le soufre sont métabolisés par les plantes via les nitrates et les sulfates contenus dans le sol.

Globalement, l'efficacité de conversion du rayonnement a été calculée dans de nombreuses études et est de 1.7 à 2.5 [g MS/MJ] lorsqu'il n'y a pas de contraintes hydriques ou minérales. Le rendement énergétique de transformation de la lumière en énergie chimique est d'environ 0.5 à 1% sur une année complète par rapport au flux solaire captable. (FARINEAU J. and MOROT-GAUDRY J.-F., 2006) ; (DEMEYER A. et al., 1982)

Par analogie avec cette formule, nous pouvons également proposer que les animaux tirent l'énergie pour leur métabolisme lors de la combustion de leurs aliments selon :



Ces deux formules (production et dégradation du glucose) sont le moteur du cycle du carbone. Elles nous permettent de compléter les schémas de matières sèches et fraîches et de passer à celui d'énergie.

1.3.2 Métabolisme humain

Globalement, le corps humain consomme des aliments pour ses différentes activités en transformant l'énergie chimique stockée dans les aliments en chaleur via l'oxydation des composés.

En moyenne, un être humain consommant 2'500 kcal par jour dégage une puissance moyenne de 120 W sous forme de chaleur (à comparer à une vieille ampoule à incandescence de 120 W allumée 24h/24). En réalité, la puissance déagée dépend de l'activité physique réelle. On peut relever quelques chiffres typiques (voir Tableau 1) :

Activité physique	Puissance en [W]
Repos	70-130
marche	200-400
Travail manuel modéré	150-300
Travail manuel intense	300-500
Sport intense	500-900

Tableau 1 : Puissance selon le type d'activité physique (ASHRAE HANDBOOK, 1989), chapter 8

Pour simplifier nos calculs, nous avons estimé dans nos schémas le travail agricole moyen à 280 W, ce qui correspond à 1 MJ de chaleur dissipée pour une heure travaillée.

1.4 Eléments clés liés à l'énergie

La démarche générale adoptée dans cette étude est de passer des schémas de flux matières sèches à ceux de matières fraîches puis à ceux d'énergie. Afin d'effectuer les conversions entre la matière et l'énergie, il est important de comprendre que l'énergie peut être sous plusieurs formes et plus ou moins dégradée.

On considère en général que de l'énergie primaire (ressource) est transformée en énergie secondaire pour aboutir ensuite à une prestation énergétique (voir Figure 4).

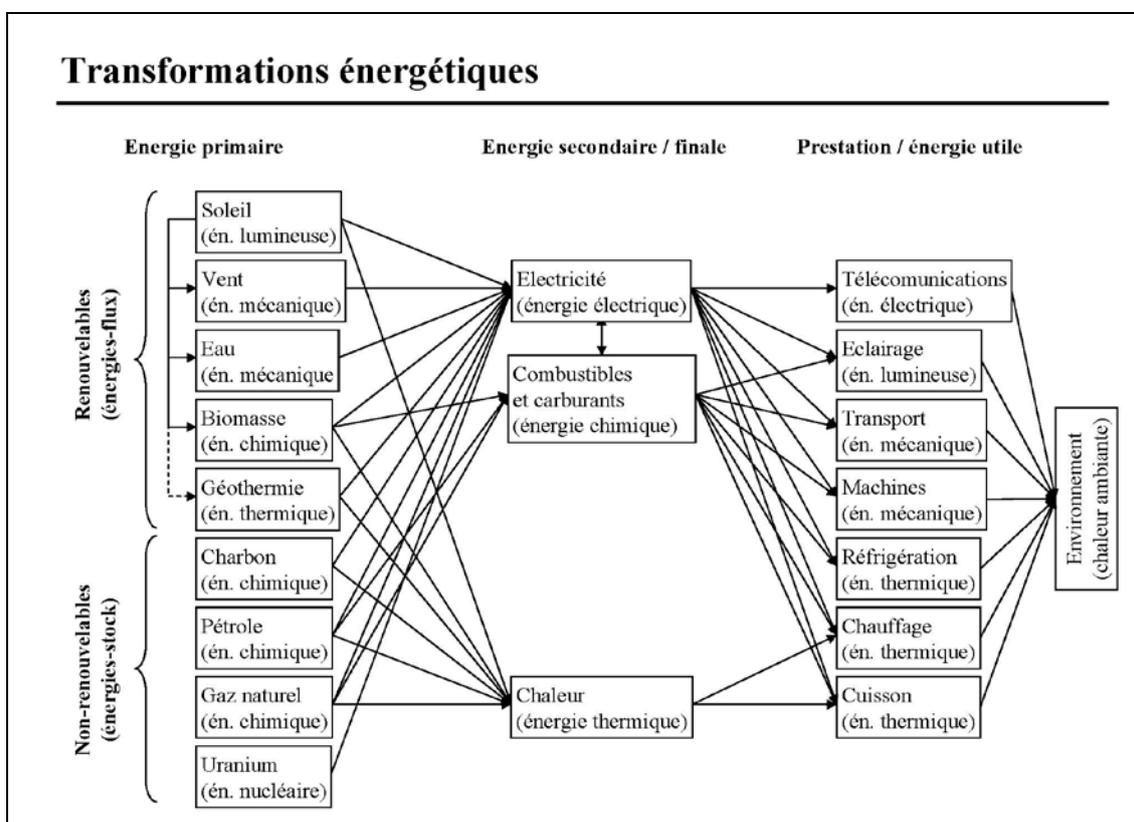


Figure 4 : illustration de la chaîne énergétique ((LACHAL B., 2009))

Dans cette illustration générale, il est important de noter l'aspect qualitatif de l'énergie finale : l'électricité peut aboutir à tous les types de prestations tandis que la chaleur ne peut que se dégrader en chaleur. La prestation dépend donc de la qualité de l'énergie fournie.

Globalement, le premier principe de la thermodynamique postule la conservation de l'énergie totale dans un système. Cela sous-entend que la somme des entrées doit être égale à la somme des sorties. Le deuxième principe de la thermodynamique postule la dégradation de la qualité totale de l'énergie, qui, au bout de la chaîne, termine en chaleur inutilisable. Cela veut dire qu'à chaque transformation, une partie de l'énergie utile est transformée en chaleur inutilisable.

Les trois contraintes principales liées à l'énergie sont :

- Contraintes de qualité : l'énergie doit être sous une forme adaptée aux besoins (électrique, mécanique, chimique, chaleur, énergie lumineuse)
- Contraintes de temps : l'énergie doit être disponible à certains moments précis, ce qui nécessite de la stocker (par exemple dans les aliments pour les besoins de l'alimentation humaine)
- Contraintes de lieu : l'énergie doit être disponible sur son lieu d'utilisation. Le transport de l'énergie a toujours été un facteur limitant.

Dans le cas de l'agriculture, l'énergie solaire est transformée via les plantes pour être stockée chimiquement, avec l'aide des minéraux du sol. Cette énergie chimique est ensuite transportée puis transformée via différents processus industriels (pas pris en compte dans cette étude) afin d'aboutir au final dans notre assiette. La production de viande ne fait que complexifier ce schéma général.

1.5 Analyse des sous-systèmes

Concrètement, chaque sous-système est analysé en trois étapes distinctes en faisant les schémas de flux de matières sèches (MS), ensuite ceux de matières fraîches (MF) et enfin ces derniers sont convertis en schéma de flux d'énergie (E). L'unité fonctionnelle de base est soit un hectare de culture, soit une unité de gros bétail (UGB) pour les animaux. Les données de matière sèche utilisées pour cette étude sont rassemblées dans l'annexe 2.

1.5.1 Bilans de matière

Seuls les flux directs sont comptabilisés (voir Figure 5 et Figure 6) :

1. Eau et gaz carbonique métabolisé (et oxygène utilisé pour la respiration dans le cas des animaux) ;
2. Matières directes consommées (engrais, produits phytosanitaires, semences, etc.) ;
3. Matières produites (rendement des cultures, quantité de viande ou de lait), avec différentes qualités (alimentation humaine, animale ou déchets recyclés) ;

Les flux de matières consommées et produites sont issus des questionnaires de terrain. Les flux naturels sont calculés par l'Université selon la formule générale de la photosynthèse (voir définition du métabolisme).

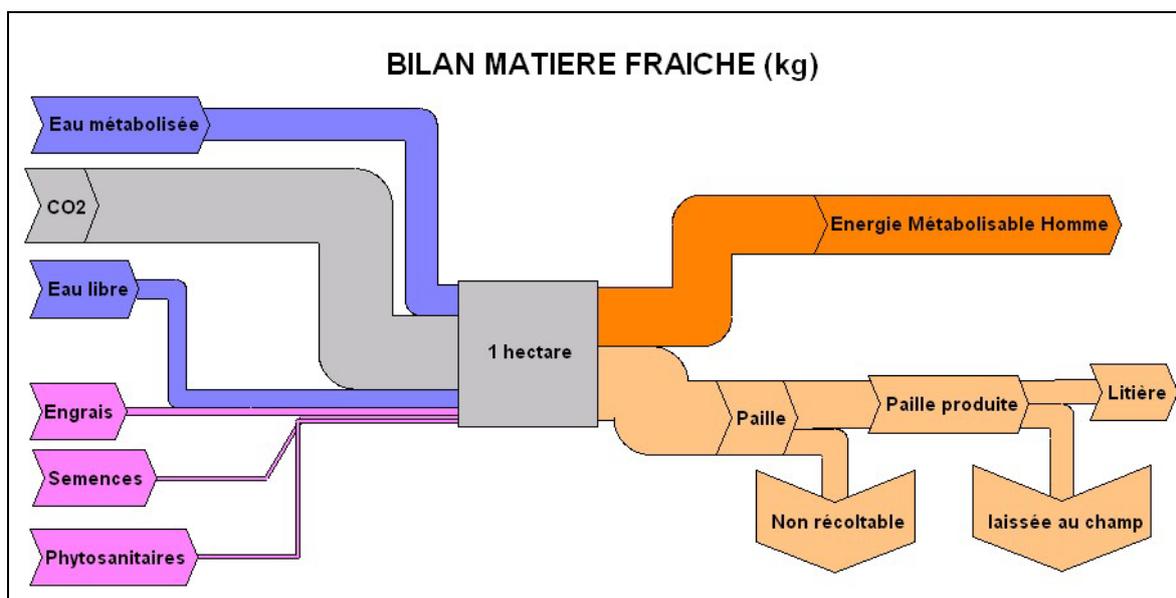


Figure 5 : schéma général des bilans de matières fraîches

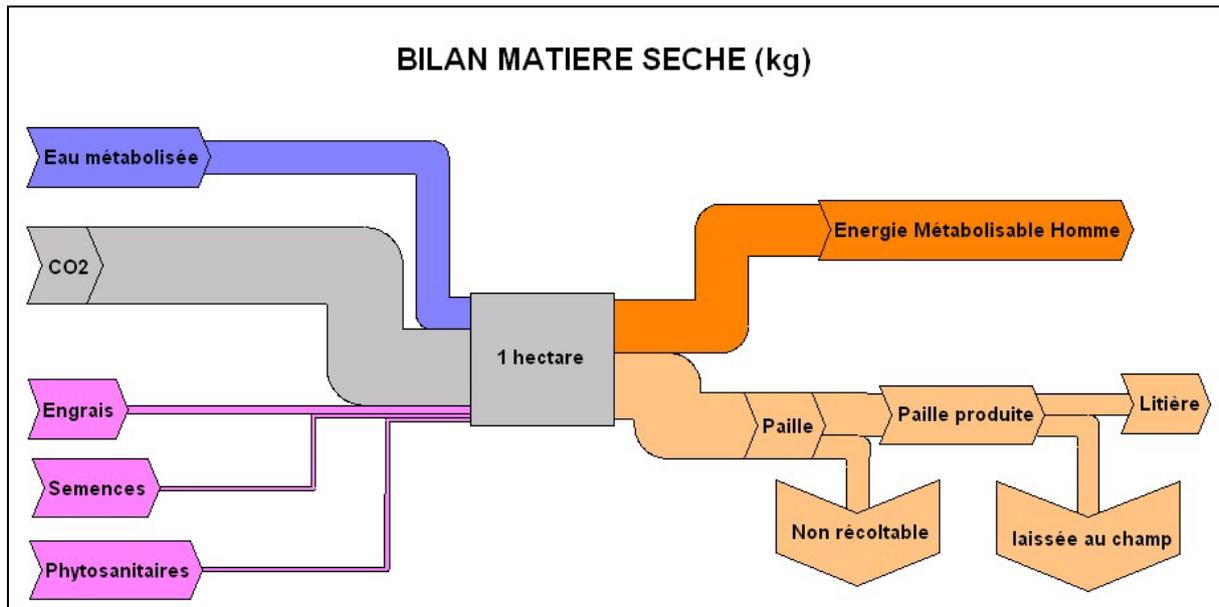


Figure 6 : schéma général des bilans de matières sèches

1.5.2 Bilans d'énergie

Pour les schémas de flux d'énergie, les paramètres clés fondamentaux retenus pour le métabolisme agricole FVG sont (voir Figure 7) :

- Flux solaire ;
- énergies directes consommées (carburants, électricité, chauffage, intrants directs) ;
- énergie estimée du travail humain ;
- énergies indirectes consommées (énergie grise des intrants, des bâtiments, des machines) ;
- énergies produites (rendement des cultures, quantité de viande ou de lait) ;
- dégradation de l'énergie (dissipation sous forme de chaleur de l'énergie indirecte, de 50% des engrais chimiques, du travail humain et des combustibles fossiles).

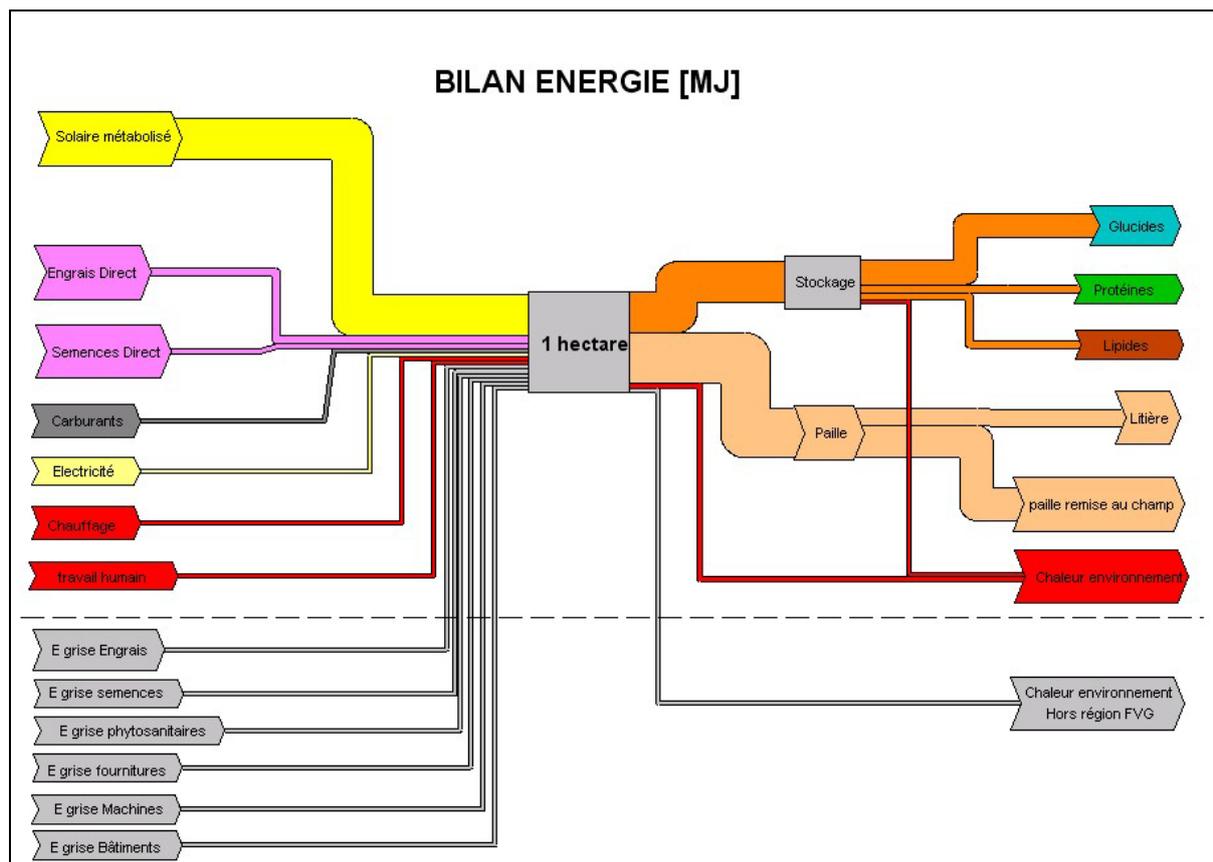


Figure 7 : schéma général des flux d'énergie

Contrairement à ce qui est fait dans les bilans PLANETE, nous avons pris en compte le flux d'énergie solaire pour comptabiliser la partie naturelle de l'énergie. De plus, le flux des intrants chimiques ou organiques a été séparé en deux parties : la partie directe liée à l'enthalpie de combustion de l'intrant chimique (ou au PCS pour les intrants organiques) et l'énergie grise utilisée pour la production et le transport des intrants. L'énergie directe des engrais est estimée grossièrement avec un rendement de transformation de 50% (50% de l'énergie de sortie est stockée dans les aliments et 50% est dissipé sous forme de chaleur). Il s'agit simplement d'une estimation pour rendre compte du stockage chimique dans les aliments mais nous n'avons pas pu approfondir plus loin ce chiffre qui dépend d'énormément de facteurs.

Les intrants organiques ont été estimés selon leur PCS et en y ajoutant de l'énergie grise pour la production initiale de ces intrants lorsque cela se justifiait.

Il est important de noter avec ce schéma qu'on ne peut pas manger du pétrole ou de l'électricité mais bien de l'énergie transformée grâce aux plantes et stockée chimiquement dans les aliments. C'est l'aspect « qualité de la nourriture » qui apparaît bien sur ce schéma.

Dans ces schémas, la répartition de l'énergie brute récoltable (en orange) entre les glucides, protéines et lipides est estimée avec les bases de données de nutrition. La base de données suisse des valeurs nutritives mise en ligne par l'école polytechnique de Zurich (ETHZ) donne les valeurs de l'énergie métabolisable de toutes sortes d'aliments (voir sous http://www.swissfir.ethz.ch/datenbank/index_FR, consulté le 14.02.09). Il est possible de retrouver passablement de valeurs en lipides, glucides, protéines, eau et alcool des aliments.

Les lipides sont mesurés en lipides totaux et en trois groupes d'acide gras (saturés, mono-insaturés et poly-insaturés). La somme des trois types d'acides gras est rarement égale aux lipides totaux, la différence étant d'autres substances telles que le glycérol. Les protéines sont mesurées selon leur teneur totale en azote et multipliée par 6.25. Ce facteur de conversion peut différer légèrement d'un aliment à l'autre mais est une bonne approximation générale. L'eau et l'alcool sont mesurés de manière classique. Les glucides totaux sont déduits en enlevant les lipides, les protéines, l'eau et les cendres. Les glucides disponibles sont calculés en soustrayant aux glucides totaux les fibres alimentaires.

Nous avons également utilisé la base de donnée ALP pour les produits animaux tel que le lait (voir sous <http://www.alp.admin.ch/themen/01240>, consulté le 13.03.09).

Pour rappel, les différents aliments ont un contenu énergétique spécifique selon leur répartition de glucides, lipides et protéines (FAO, 2003) :

- 1 g lipides = 37 kJ (ou 8.9 kcal)
- 1 g de protéines = 17 kJ (ou 4.1 kcal)
- 1 g glucides = 17 kJ (ou 4.1 kcal)
- 1 g d'alcool = 27 kJ (ou 6.5 kcal)

La transformation, le stockage et le transport des produits ne sont pas pris en compte dans le métabolisme agricole FVG. Seule la production brute de l'agriculture est prise en compte. En revanche, cela n'empêche pas de comparer les flux issus des besoins alimentaires globaux de la région avec les flux produits par l'agriculture de la région. Cet aspect sera analysé dans le chapitre 4.

Pour calculer l'énergie grise, il a été décidé de prendre des chiffres d'Ecoinvent et de faire des approximations lorsque cela était nécessaire (NEMECEK T. and KAGI T., 2007). Parfois, d'autres sources ont dû être utilisées pour estimer certains chiffres concernant l'énergie grise. Les chiffres utilisés dans ce rapport sont détaillés dans les annexes 1 et 3.

Dans les bases de données comme Ecoinvent, les intrants sont systématiquement comptabilisés en énergie indirecte. Pour le calcul de l'énergie grise, nous avons donc soustrait à la valeur Ecoinvent l'enthalpie de formation de l'engrais afin de ne pas comptabiliser deux fois ce flux (l'énergie grise de production de l'intrant comprend l'enthalpie de formation).

Pour conclure, précisons que ces données d'énergie grise sont toujours sujettes à beaucoup de discussion et de débats. Il s'agit souvent de moyennes de plusieurs études, de différentes sources, des différents pays, parfois de différentes méthodes, etc... Dans notre analyse, l'important était plutôt de bien cerner les ordres de grandeur et non pas d'analyser en détail les flux d'énergie grise. Cela aurait été un travail de titan que d'analyser les énergies grises dépendantes de l'agriculture régionale. De plus, les limites du système peuvent aussi parfois être sujettes à discussion.

Il faut garder à l'esprit que toute l'énergie grise est consommée en dehors du périmètre de l'agglomération FVG et donc que l'influence de politique régionale sur ces aspects est indirecte. Il est toutefois intéressant de voir les ordres de grandeur en comparant aux flux directs de la production agricole locale.

2 Résultats agrégés par sous-systèmes

2.1 Aspects qualitatifs

2.1.1 Données de Base

Les 6 sous-systèmes prédéfinis sont chacun analysé séparément en tenant compte de leurs spécificités. Les différentes hypothèses pour chacun des sous-systèmes sont résumées dans les annexes 6 à 26.

De manière générale, les flux calculé ou estimé correspondent à :

- Flux solaire : considéré comme identique sur toute la région franco-valdo-genevoise et égal à 1000 [kWh/m²] par an ;
- Rendement : rendement des cultures estimé avec répartition entre l'énergie utilisable pour les êtres humains, celle utilisable pour les animaux ou celle remise directement au sol ;
- Fertilisation : correspond aux normes plus ou moins complètes selon les cultures ;
- Phytosanitaires : correspond au nombre de passages et aux quantités de produit ainsi que l'énergie grise déduite ;
- Electricité, chauffage (éventuel) : selon le mode de culture, utilisation ou non de chauffage et d'électricité
- Machines : amortissement calculé à l'aide de la force de traction horaire (FTH) et déduction du parc de machines utilisées pour chaque sous-système pour calculer l'énergie grise liée aux machines ;
- Carburant : estimé avec l'expérience des exploitations visitées ;
- Main d'œuvre : correspond au nombre d'heure de travail humain, le travail agricole moyen étant estimé à 280 W, donc 1 MJ de chaleur dissipée pour une heure travaillée ;
- Bâtiments : correspond à l'estimation de la surface nécessaire au stockage des machines et/ou des animaux afin de calculer l'énergie grise liés aux bâtiments

Pour chaque sous-système, les flux sont ramenés à l'hectare ou à l'UGB. Pour les cultures, le fait de ramener chaque culture à l'hectare permet de faire une photographie qui peut s'adapter au fur et à mesure du temps selon l'évolution des hectares de la région. Ce sont les principales cultures de la région qui ont été analysées (selon les chiffres du Tableau 2).

Pour les animaux, un calcul a été fait afin de prendre en compte les flux de l'ensemble de la vie d'une vache avant de ramener ces flux à une année et un UGB. Seules les vaches (à viande ou à lait) ainsi que les porcs ont été analysés en détail.

Une fois que ces schémas de flux sont validés, ils sont multipliés par les hectares et les UGB de la région selon les chiffres du Tableau 2 afin d'avoir les chiffres globaux par sous-systèmes.

	Territoire transfrontalier	Canton de Genève	District de Nyon	Pays de Gex	Genevois Haut-Savoie
Grandes cultures (ha)	17766	6004	4670	2455	4637
% par rapport à région FVG	100%	34%	26%	14%	26%
Céréales	10455	3690	2792	1166	2807
panifiables		2530	2047		
fourragères		1160	745		
Culture sarclées	7311	2314	1878	1289	1830
oléagineux		1417	788		
légumineuses		549	263		
maïs		280	458		
betterave		45	249		
pomme de terre		23	120		
Surfaces herbagères (ha)	31608	2234	3155	6931	19288
% par rapport à région FVG	100%	7%	10%	22%	61%
Prairies intensives		420	1266		
Prairies/pâturages peu intensifs		457	603		
Prairies/pâturages extensifs		1357	1286		
Viticulture (ha)	2385	1346	941	9	89
% par rapport à région FVG	100%	56%	39%	0.4%	4%
Arboriculture fruitière (ha)	583	67	291	2	223
% par rapport à région FVG	100%	11%	50%	0.3%	38%
Maraîchage (ha)	495	200	118	5	172
% par rapport à région FVG	100%	40%	24%	1%	35%
Production de lait (UGB)	21572	1096	3873	4403	12200
% par rapport à région FVG	100%	5%	18%	20%	57%
Vaches laitières (UGB)	18879	595	2628	4096	11560
Vaches allaitantes (UGB)	2693	501	1245	307	640
Production animale (UGB)					
Bovins viandes (UGB)	1747	435	490	237	585
% par rapport à région FVG	100%	25%	28%	14%	33%
Porcs (UGB)	535	425	45	21	44
% par rapport à région FVG	100%	79%	8%	4%	8%
Equins (UGB)	3064	1020	800	552	692
% par rapport à région FVG	100%	33%	26%	18%	23%
Volailles (UGB)	176	48	128		
% par rapport à région FVG	100%	27%	73%	0%	0%
Direction Générale de l'Agriculture Genevois Calculs à partir de chiffres DGA Service de l'agriculture du canton de Vaud CRFG : synthèse territoire agricole FVG					

Tableau 2 : hectares et UGB par région et sur le territoire franco-valdo-genevois

Ces chiffres proviennent de la compilation de différentes sources (CRFG, 2007) ; (ETAT DE GENEVE, 2008) ; service agricole du canton de Vaud, communication personnelle).

2.1.2 Limites de l'analyse

Certains sous-systèmes ont été séparés en plusieurs types de production lorsque les différences paraissaient importantes et lorsque l'information existait. Il n'a bien sûr pas été possible d'analyser avec une grande finesse toutes les catégories. L'objectif de cette étude était de déceler les ordres de grandeur et de comparer globalement les différents apports énergétiques des différents types de production agricole. Concernant la partie française de l'analyse, il ne nous a pas été possible d'obtenir des informations plus détaillées sur les surfaces que celles contenues dans le rapport du CRFG (CRFG, 2007). Nous avons donc du calculer des chiffres moyens selon Genève et Vaud, où les données étaient plus détaillées, et estimer que la répartition des différentes cultures étaient identiques des deux côtés de la frontière.

Cette approximation pourrait tout à fait être améliorée à l'avenir et permettre ensuite de recalculer les différents schémas par une nouvelle répartition d'hectare. De même, une évolution du type de culture peut être prise en compte pour recalculer des flux d'énergie complet.

Les flux des différents sous-systèmes sont basés uniquement sur les flux directement utilisés pour l'activité de production agricole. Les consommations des fermes ou de toutes autres activités des agriculteurs (tourisme, vente directe, etc.) ne sont pas prise en compte dans les flux.

2.2 Aspects quantitatifs globaux

Les schémas de matière fraîche, de matière sèche et d'énergie ont été effectués pour plusieurs sous-groupes de cultures selon leur importance et nos visites effectuées. Toutes les hypothèses prises ainsi que les schémas par sous-groupes sont regroupés dans les annexes 6 à 26. Ces hypothèses sont construites selon les visites effectuées, nos connaissances du terrain, les chiffres d'Agridea ainsi que des compléments demandés à des experts reconnus.

Le rapport entre les visites effectuées et les surfaces régionales se trouve dans l'annexe 4. Nous avons essayé de prendre en compte les plus grandes filières pour estimer chaque sous-système de la manière la plus large possible.

Les flux globaux de matière et d'énergie sont ensuite agrégés pour une comparaison générale avec les produits consommés dans la région (voir chapitres 3 et 4).

2.2.1 Grandes Cultures

Nous étions en possession des surfaces assez détaillées pour Genève et Vaud. En approximant les schémas par sous-groupe, nous avons pu obtenir une évaluation des schémas pour les cultures céréalières et les cultures sarclées, et ainsi multiplier les surfaces totales de la région. Cette opération aboutit au bilan énergétique global suivant (voir Figure 8) :

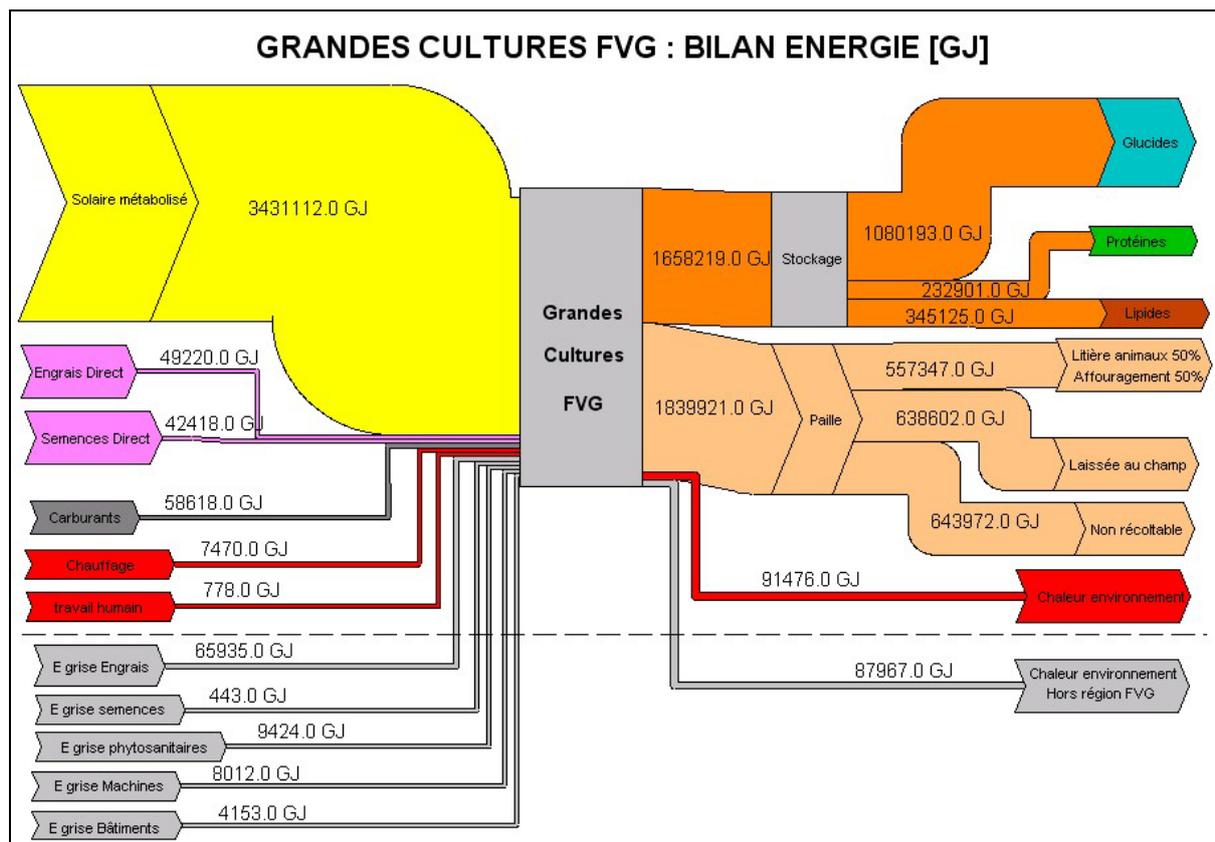


Figure 8 : schéma énergétique global des Grandes Cultures de la région FVG

Afin de simplifier, la paille utile sortie du champ est répartie pour moitié en litière et pour moitié en affouragement. Mais ce chiffre pourrait se modeler au besoin.

Nous voyons que globalement, en dehors du flux naturel solaire, les engrais et semences dominent le flux, tandis que les carburants sont également importants. La moitié de l'énergie produite est de la paille, qui reste au champ pour environ les deux tiers. Nous avons estimé que nous pourrions potentiellement exporter encore un tiers de cette paille, ce qui correspond à environ 40'000 tonnes de paille. Cependant, ce chiffre doit être relativiser selon les besoins en matières organiques et les besoins de structuration du sol. A Genève, la faiblesse du secteur animalier serait plutôt en faveur d'un maintien maximal de la restitution de la paille au sol.

2.2.2 Viticulture

Pour la viticulture, nous avons pu assez facilement réaliser le bilan grâce aux données de terrain obtenues par une autre étude (SOFIES, 2009a) ainsi que par des avis d'experts. Il est apparu qu'une légère différence de pratique de fumures entre Vaud et Genève justifiait une multiplication un peu différente pour les engrais. Toutes les hypothèses se retrouvent dans l'annexe 9.

Globalement, le résultat pour la région franco-valdo-genevoise peut être présenté comme suit (voir Figure 9 ci-dessous) :

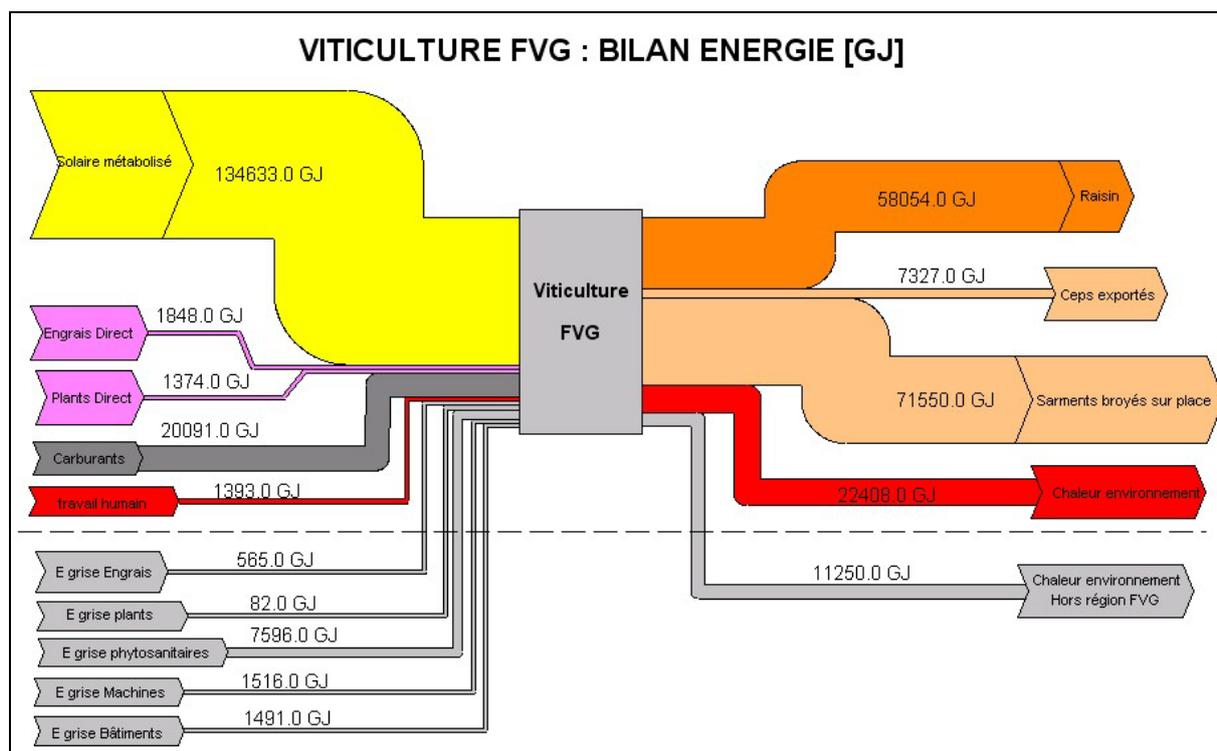


Figure 9 : schéma énergétique global de la Viticulture de la région FVG

Il est intéressant de noter que dans le cas de la viticulture, un plus grand travail est exigé, à la fois en terme de machines et de travail humain. En revanche, notons que le flux solaire globalement métabolisé est environ 25 fois moins élevé que pour les grandes cultures, bien que la viticulture soit symboliquement très fortement ancrée dans la population.

La viticulture occupant environ 8 fois moins de surface que les grandes cultures, la différence de rendement est d'environ 3. Cela paraît tout à fait logique étant donné les objectifs de qualité et donc de limitation des rendements que s'impose la profession concernant la production de vin.

2.2.3 Arboriculture

Pour l'arboriculture, une exploitation par région a été visitée. Les données françaises diffèrent un peu en terme de fertilisation (moins d'azote, plus de potasse et de phosphore). Le bilan présenté ci-après (voir Figure 10) est celui de la région valdo-genevoise mais dans le calcul global du sous-système « arboriculture », les données françaises sont intégrées au bilan énergétique.

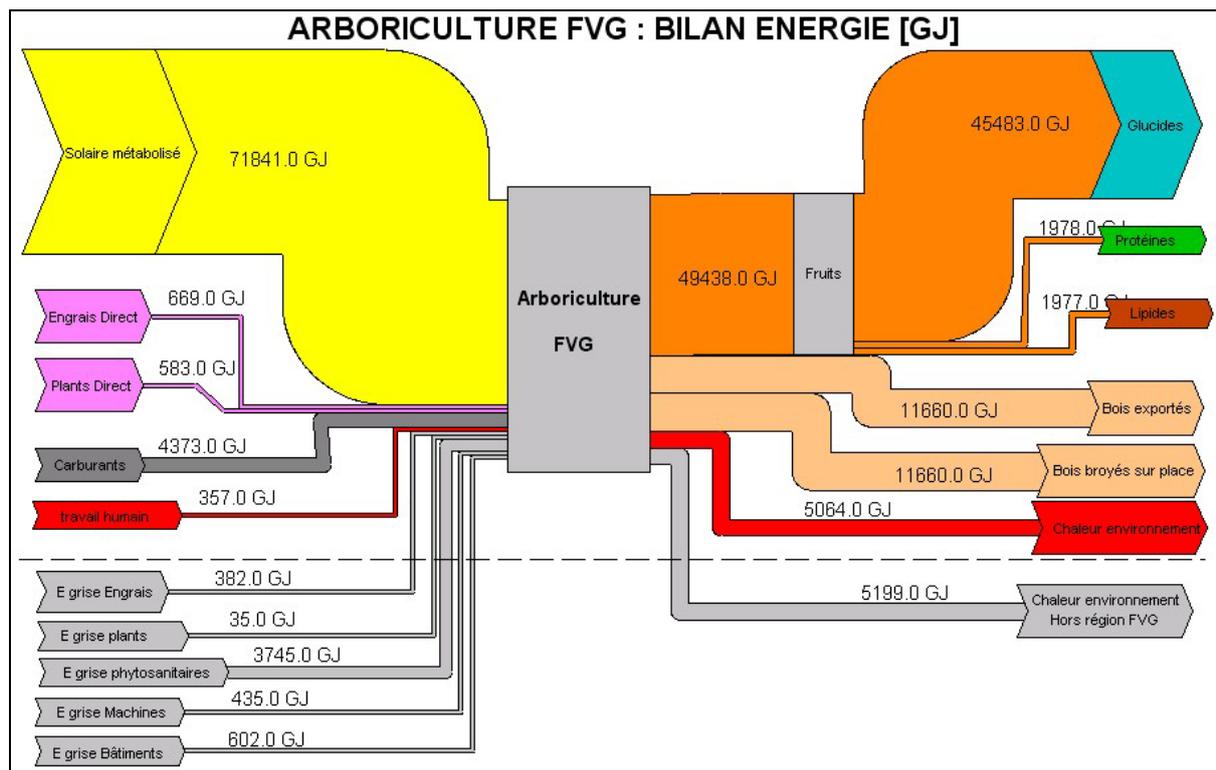


Figure 10 : schéma énergétique global de l'Arboriculture de la région FVG

L'énergie nécessaire au stockage des fruits tout au long de l'année n'a pas été calculée étant donné que nous considérons ceci comme une opération de transformation.

Il est intéressant de noter qu'une partie du bois produit par la photosynthèse est exporté et pourrait être utilisé pour du chauffage par exemple. Il ne s'agit toutefois que d'environ 600 tonnes de bois sec, ce qui représente environ 40% de la consommation de la chaufferie à bois de Cartigny (9'000 MWh).

2.2.4 Maraîchage

Pour le maraîchage, le type de culture peut être très différent entre des tomates hors sol sous serres ou des salades en plein champ. Le but de cette étude n'étant pas d'analyser en détail la culture maraîchère, nous avons adopté un certain nombre d'approximations pour estimer les flux globaux d'énergie. Les détails des hypothèses sont décrits dans les annexes 11 à 16.

Premièrement, nous avons analysé la situation genevoise étant donné que nous avons beaucoup plus d'informations via l'Union Maraîchère de Genève (UMG), notamment en terme de surface par type de culture. Deuxièmement, nous avons séparé l'analyse entre la culture maraîchère de plein champ et celle sous abris. Troisièmement, nous avons analysé en détail deux cultures « types » pour le plein champ et les tunnels. Quatrièmement, nous avons multiplié nos différentes cultures « moyennes » par les hectares que nous avons à disposition. Pour finir, nous avons considéré que les régions françaises et vaudoises avaient les mêmes répartitions de types de surfaces.

Nous aboutissons donc au bilan énergétique suivant pour les cultures maraîchères (voir Figure 11) :

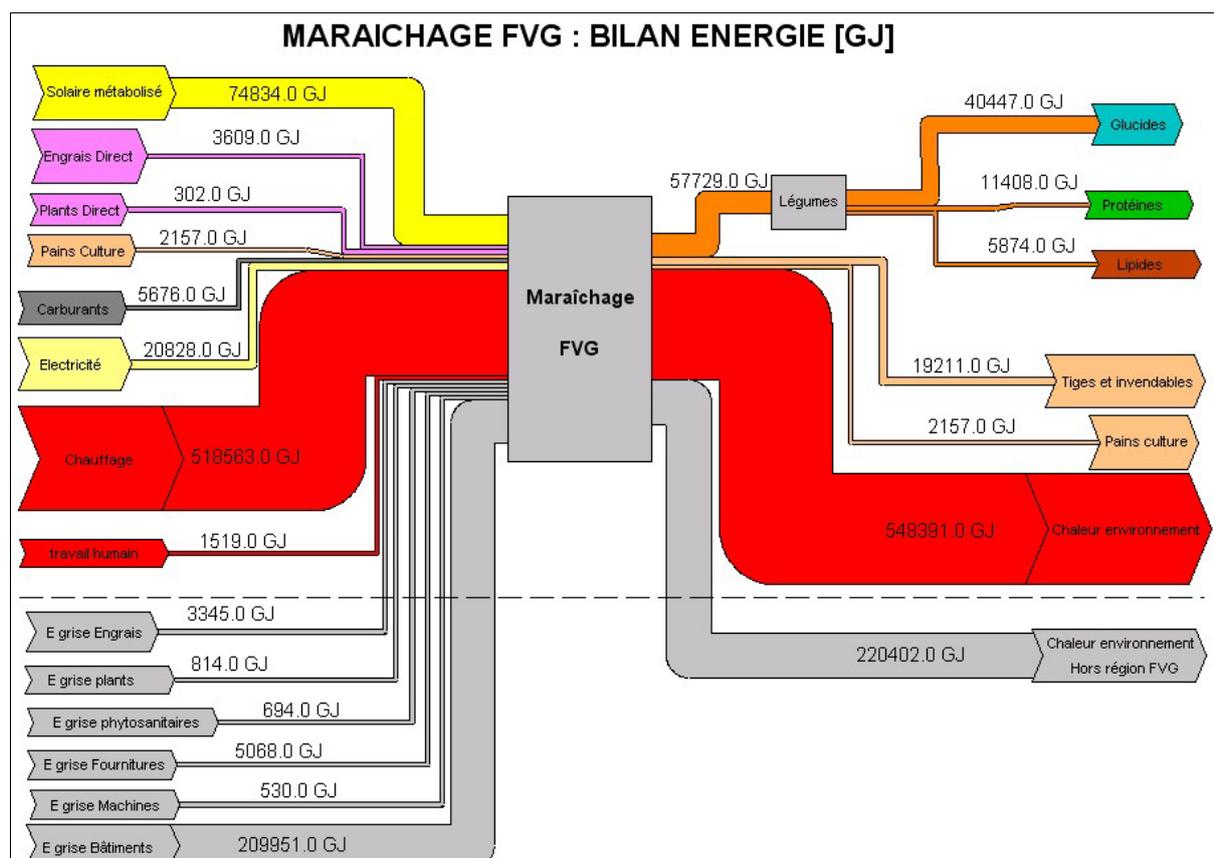


Figure 11 : schéma énergétique global pour le Maraîchage de la région FVG

Il est important de voir que 83% du flux total d'énergie directe est constitué du chauffage des serres en verres et que 80% du flux d'énergie indirecte est constitué de l'estimation du coût énergétique des serres en verre, alors que ces serres ne représentent qu'environ 10% des surfaces totales du maraîchage. Ce dernier chiffre est sujet à discussion et il faut le prendre comme un ordre de grandeur. Pour comparer, nous enlevons les 45 hectares de serres hors-sol et aboutissons aux résultats suivants (Figure 12) :

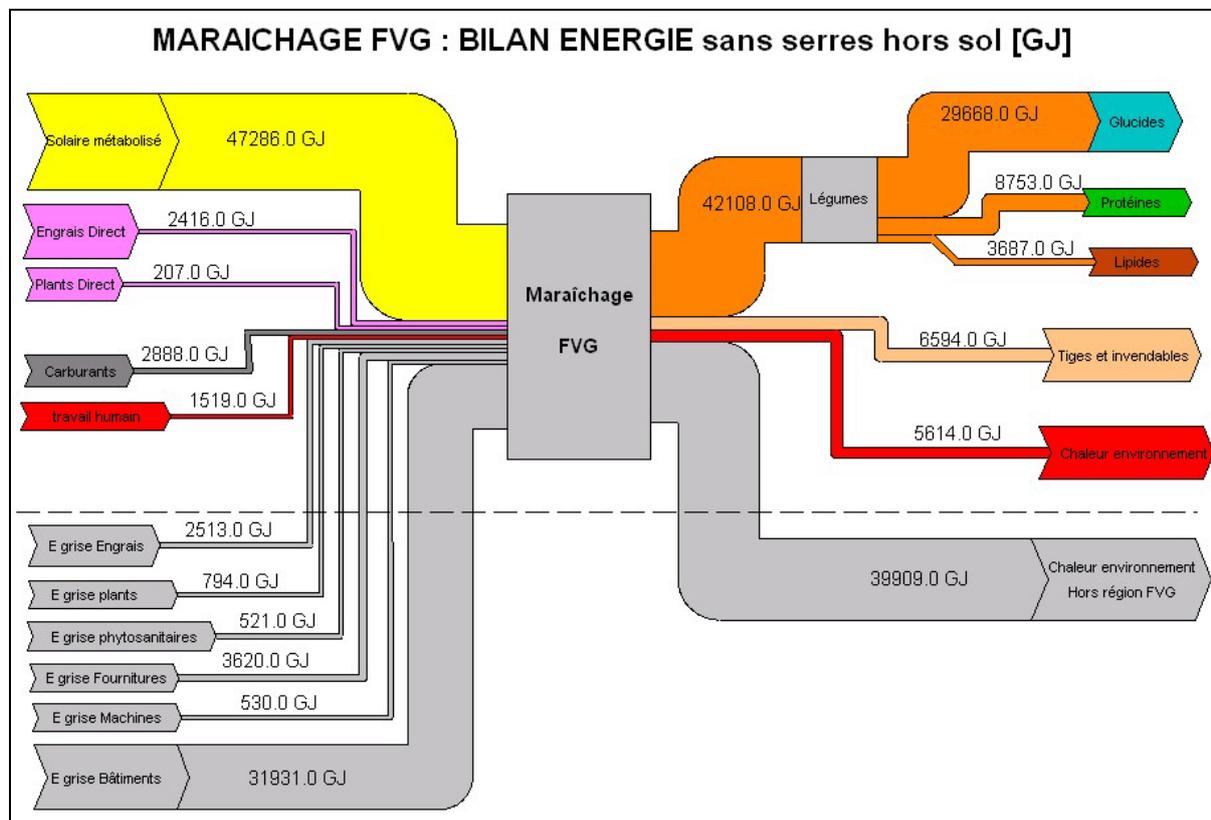


Figure 12 : schéma énergétique global pour le Maraîchage de la région FVG (sans les serres hors sol)

L'avantage des cultures intensives sous serres n'est donc pas énergétique (car il faut beaucoup d'intrants fossiles pour un rendement légumes/solaire métabolisé pas plus élevé) mais sur le nombre d'hectares utilisés pour produire une quantité identique de tomate (facteur 4 entre des tomates sous tunnel et des tomates sous serres). En revanche, les cultures sous serres sont très dépendantes du prix du mazout pour le chauffage.

A titre de comparaison et de manière approximative, le transport de 10 tonnes de tomates en camion sur 2'500 km correspond à environ 3 GJ/t tomates, contre 26 GJ/t tomates pour le chauffage sous serres en Suisse. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que d'autres sources (JOLLIET O., 1993). Cela montre que l'analyse purement énergétique favorise la production hors sol étrangère sans chauffage, par rapport à une production locale avec chauffage. Ceci ne prend pas en compte les autres aspects (sociaux, phytosanitaires utilisés, périodes de cultures, etc...).

Etant donné que nous n'avons pas les données détaillées de la répartition entre serres, tunnel et plein champ pour la partie française, il faut prendre les résultats globaux pour la région avec parcimonie. La réalité se trouve probablement entre les deux figures ci-dessus (Figure 11 et Figure 12).

Nous pouvons observer que le chauffage des serres est un poste très gourmand en énergie et que des systèmes passifs de stockage des excédents solaires seraient probablement très intéressants à étudier pour diminuer la quantité d'énergie fossile utilisée. Certaines exploitations ont probablement déjà mis en place des systèmes de ce type. Une étude menée sur des serres valaisannes a estimé le potentiel d'économie nette de chauffage à 25% (HOLLMULLER P. et al., 2002).

2.2.5 Animaux (viande et lait)

Pour la filière animale, nous avons décidé de nous limiter à l'analyse des bovins et des porcs. En effet, les filières animales étant complexes à analyser, nous nous sommes focalisés sur les bovins (lait et viande), qui représentent les plus gros flux de matière et d'énergie, et sur les porcs, qui sont une filière alimentaire plus intensive que les bovins. Les résultats sont présentés de manière séparée dans les annexes 6, 7 et 8. Au niveau franco-valdo-genevois, le bilan énergétique bovins et porcs est représenté ci-dessous (voir Figure 13) :

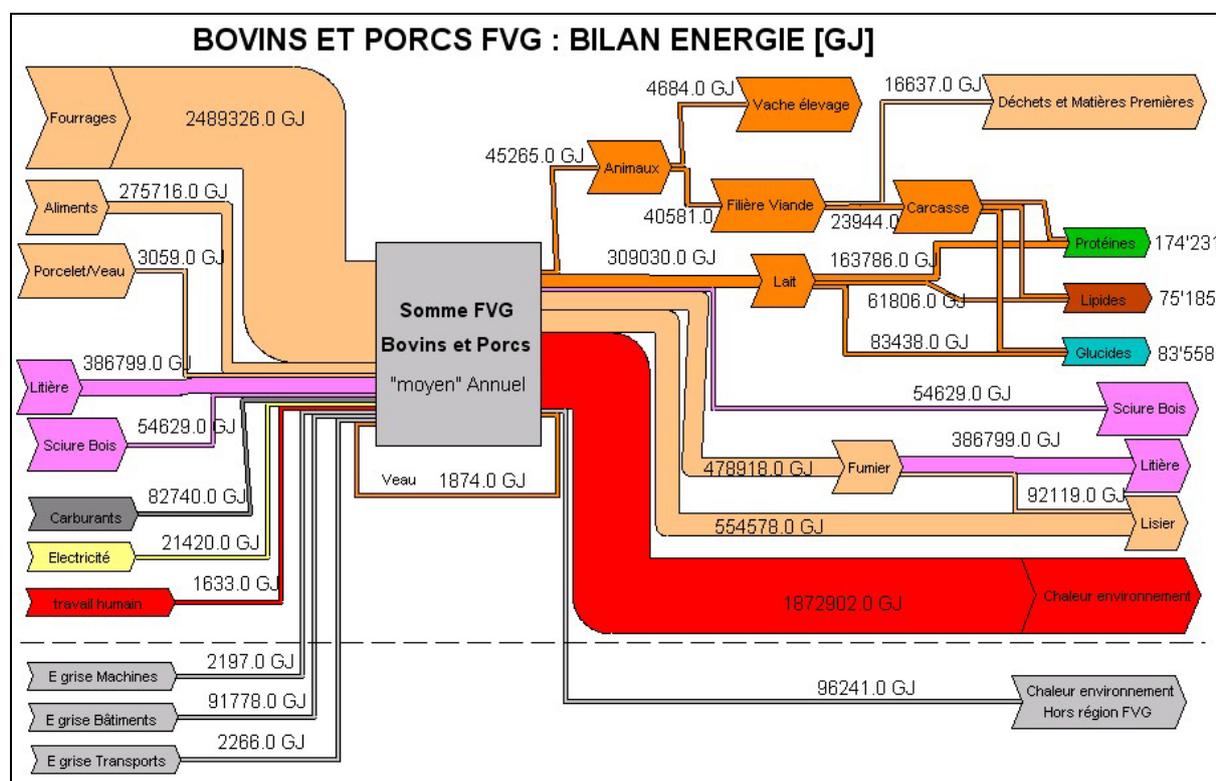


Figure 13 : schéma énergétique global des Bovins et Porcs de la région FVG

Dans ces bilans d'animaux, la chaleur dégagée par ceux-ci est bien prise en compte et correspond à la plus grosse partie de la flèche rouge de sortie « chaleur environnement ».

Tous les rendements entre le poids vif, la carcasse, les déchets et la viande sont issus d'une étude globale allemande analysant tous les flux des abattoirs (NOTTRODT A., 2001) et qui correspondent aux données suisses utilisées par Mme Faist dans sa thèse (FAIST M., 2000). Cela veut dire également que pour cette production, nous avons pris en compte déjà le

rendement de transformation de la viande, contrairement aux autres productions comme la viticulture ou la partie transformation du raisin en vin n'est pas comptabilisée.

Il est intéressant de noter que pour la région, c'est la filière de production laitière qui représente environ le 90% du flux d'énergie. Même le flux d'animaux aboutissant à la filière viande est constitué à 50% de vaches issus de la filière lait. Environ 10% du flux de lait est interne à l'agriculture (vaches allaitantes). La région est donc nettement dominée par la filière bovin-lait, qui fournit la majorité de l'énergie issue de la filière animale.

Globalement, la comparaison entre l'énergie des aliments plus les bêtes entrantes et l'énergie des bêtes sortantes est de 1 Joule produite pour 8 Joules investies, soit environ 13% de rendement de transformation. Les bovins viande sont aux alentours de 1 pour 16 tandis que les porcs sont plutôt à 1 pour 4. Mais il faut rester prudent avec ce dernier chiffre étant donné que nous n'avons pas eu le temps d'analyser l'énergie grise des aliments protéiques des porcs, qui doit être assez élevée, et donc péjorer un peu ce résultat. Le métabolisme des porcs et des vaches est cependant très différent et la prise en compte de l'énergie grise des aliments protéiques va au maximum doubler les besoins en calories primaires. Notons en revanche que les vaches mangent des fourrages qui ne sont pas comestibles par des non-ruminants.

Pour les bovins viande, on peut estimer qu'il faut environ 0.2 litre de diesel pour produire un kilo de viande comestible, en intégrant l'investissement en diesel de la culture de fourrage (0.05 l/kg). Pour les bovins lait, 1 litre de diesel permet de produire environ 32 litres de lait.

Nous n'avons pas eu le temps d'analyser le cas des chevaux dans nos bilans. Ces derniers consomment de grosses quantités de pailles mais ne sont pas élevés pour produire de la viande ou du lait. Cela veut dire qu'un UGB de cheval moyen annuel ne doit pas représenter beaucoup de sorties pour la filière alimentaire, en comparaison avec un UGB moyen annuel bovins ou porcs. Nous n'avons donc pas jugé prioritaire d'analyser les chevaux, même si la valorisation énergétique de la paille peut être intéressante mais n'est pas l'objet de ce rapport.

Une estimation avait été effectuée dans un rapport qui permet de situer les enjeux en terme de paille : les chevaux consomment environ 3.5 tonnes de paille par an et par UGB et produisent environ 12 t de fumier à 35% de MS (ACADE et al., 2007). Avec environ 3000 UGB sur la région, on arrive donc à 215'000 GJ, ce qui représente tout de même la somme du lisier et fumier produit par les bovins viandes sur la région. Mais cette énergie n'est de loin pas entièrement mobilisable, à la fois pour des raisons de conflit d'usage avec les besoins des sols ainsi que des raisons de rendement de maximum 50% lors de la transformation réelle du fumier en biogaz.

Concernant les volailles, les quantités d'UGB paraissent faibles au regard des flux liés aux bovins, et vu le temps imparti, nous n'avons également pas pris en compte cette filière spécifique.

2.2.6 Prairies

Pour les prairies, nous avons simplifié les différentes dénominations des prairies en trois types pour la région valdo-genevoise : extensives, peu intensives et intensives. Cela nous a permis de simplifier l'analyse. La question du lien entre pâturage et prairie est une question compliquée à résoudre. Nous la traitons plus loin.

Comme le détail de ces différentes surfaces en France ne nous était pas connu, nous avons testé trois scénarios extrêmes en plus des scénarios de base avec les surfaces genevoises et vaudoises des différents types de prairies. Les résultats détaillés se trouvent dans l'annexe 27. Les surfaces de prairies en France ont été considérées comme toutes « peu intensives ». Cela simplifie le calcul et exclu l'apport minéral considéré dans les flux « prairies intensives ».

Au niveau global, les prairies représenteraient donc les quantités suivantes (voir Figure 14) :

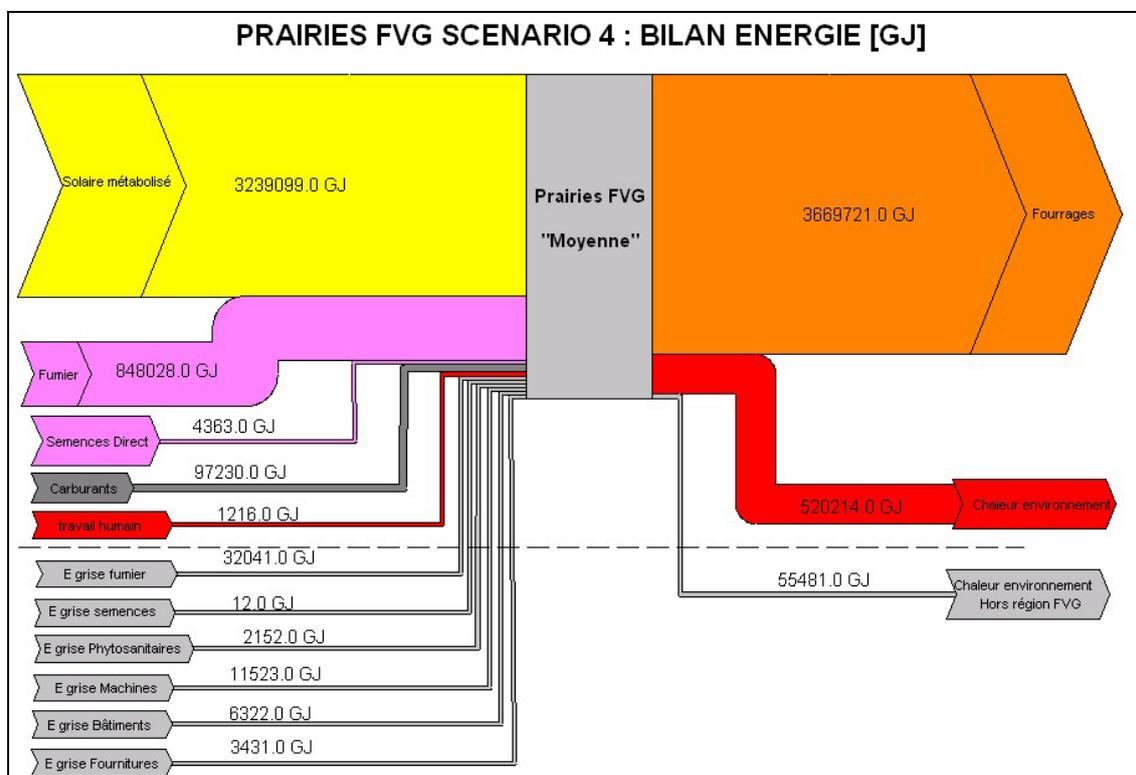


Figure 14 : schéma énergétique global des Prairies de la région FVG

3 Résultats globaux et comparaisons

Maintenant que nous avons passé en revue les différents schémas globaux par sous-système, nous pouvons faire quelques comparaisons globales brutes. Nous comparons plus loin les flux globaux entrants et sortants en flux matière ou en flux énergie afin de voir les similitudes, les différences et les éventuels avantages d'une approche énergétique de l'agriculture.

Ensuite, nous regarderons plus en détail les flux internes à l'agriculture et les flux qui se retrouveront sur le marché de l'alimentation humaine afin de sortir des comparaisons avec les chiffres de consommation humaine (voir le chapitre 4).

Rappelons tout d'abord quelques chiffres globaux concernant la consommation énergétique du canton de Genève (ETAT DE GENEVE, 2005) :

- Energie primaire = 56'400'000 GJ
- Energie finale = 41'675'000 GJ

Soit, par habitant et par usage :

- Chauffage = 47.4 GJ/hab
- Electricité = 22.8 GJ/hab
- Mobilité-carburant = 23.3 GJ/hab

A titre de comparaison, 1 GJ correspond à 28 litres de mazout. Ou lorsque l'on parle de manger 2'400 kcal par jour, cela correspond à environ 3.65 GJ par année.

En élargissant la zone au périmètre de l'agglomération (environ 800'000 habitants), nous arrivons à une estimation grossière de :

- Energie primaire = 100'000'000 GJ
- Energie finale = 75'000'000 GJ

3.1 Chiffres globaux sans élevage et avec ou sans prairies

Afin de simplifier l'analyse et en raison de la complexité du couplage des flux, nous ne traitons pas la partie animale pour le moment. Les prairies étant un flux qui est intimement couplé aux animaux, nous avons fait un tableau avec et un autre sans les prairies, car il est tout de même important de ne pas omettre cet énorme flux.

De manière chiffrée, les flux globaux (sans la partie animale dans le Tableau 3 et sans la partie animale et prairie dans le Tableau 4) sont les suivants :

TRANSFRONTALIER SANS ANIMAUX et AVEC PRAIRIES						
	INTRANTS			SORTANTS		
ENERGIE DIRECTE						
	GJ	%	% (sans solaire)		GJ	%
Solaire métabolisé	6'951'521	80.44%		Total Métabolisable Etre Humain	1'823'441	21.10%
Engrais	903'374	10.45%	53.44%	dont Glucides	1'219'533	
Semences /plants	49'040	0.57%	2.90%	dont Protéines	248'609	
Carburants	185'988	2.15%	11.00%	dont Lipides	355'299	
Electricité	20'828	0.24%	1.23%	Paille non-récoltable	643'974	7.45%
Chauffage / séchage	526'033	6.09%	31.12%	Paille laissée champ / bois broyés sur place	721'812	8.35%
Travail humain	5'263	0.06%	0.31%	Paille récoltée / Bois exporté	4'265'265	49.35%
				Chaleur direct inutilisable	1'187'554	13.74%
SOMME	8'642'047	100%	100%	SOMME	8'642'047	100%
ENERGIE GRISE						
	GJ	%			GJ	%
Engrais	102'268	26.89%		Chaleur indirecte	380'300	100.00%
Semences /Plants	1'387	0.36%				
Phytosanitaires	23'611	6.21%				
Fournitures	8'499	2.23%				
Machines	22'017	5.79%				
Bâtiments	222'518	58.51%				
SOMME	380'300	100%				

Tableau 3 : flux d'énergies FVG globaux sans les animaux

TRANSFRONTALIER SANS ANIMAUX et SANS PRAIRIES						
	INTRANTS			SORTANTS		
ENERGIE DIRECTE						
	GJ	%	% (sans solaire)		GJ	%
Solaire métabolisé	3'712'422	83.39%		Total Métabolisable Etre Humain	1'823'441	40.96%
Engrais	55'346	1.24%	7.48%	dont Glucides	1'219'533	
Semences /plants	44'677	1.00%	6.04%	dont Protéines	248'609	
Carburants	88'758	1.99%	12.00%	dont Lipides	355'299	
Electricité	20'828	0.47%	2.82%	Paille non-récoltable	643'974	14.46%
Chauffage / séchage	526'033	11.82%	71.12%	Paille laissée champ / bois broyés sur place	721'812	16.21%
Travail humain	4'048	0.09%	0.55%	Paille récoltée / Bois exporté	595'544	13.38%
				Chaleur direct inutilisable	667'340	14.99%
SOMME	4'452'111	100%	100%	SOMME	4'452'111	100%
ENERGIE GRISE						
	GJ	%			GJ	%
Engrais	70'228	21.62%		Chaleur indirecte	324'820	100.00%
Semences /Plants	1'375	0.42%				
Phytoprotecteurs	21'460	6.61%				
Fournitures	5'068	1.56%				
Machines	10'493	3.23%				
Bâtiments	216'196	66.56%				
SOMME	324'820	100%				

Tableau 4 : flux d'énergies FVG globaux sans les animaux et sans les prairies

3.2 Solaire métabolisé

Le flux solaire métabolisé est bien entendu le plus important au niveau des intrants de la région. Il représente environ 7'000'000 GJ, soit 80% de l'énergie directe entrante. Pour évaluer l'importance de ce flux, nous observons qu'il représente environ 7% de l'énergie primaire de la consommation estimée de l'agglomération. Bien entendu, la majorité du flux est en réalité utilisé pour produire des fourrages et de la paille via les prairies et les grandes cultures. Seul environ un quart de ce flux est directement consommable par l'Homme.

En ramenant le captage du flux solaire par rapport au flux naturel ($\approx 1000 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$), nous obtenons une efficacité photosynthétique réalisée d'environ 0.36% (à comparer au 0.5 à 1% généralement admis et déjà cité plus haut).

3.3 Engrais

Le flux d'engrais direct représente plus de la moitié du flux non solaire. En réalité, la majeure partie de ce flux (94%) est liée au flux de fumier des prairies et il s'agit là d'un flux qui est en grande partie un flux « naturel » non lié aux engrais minéraux.

Le flux réel d'engrais minéral direct (6%) est essentiellement lié aux grandes cultures et est plutôt d'environ 50'000 GJ avec 70'000 GJ d'énergie indirecte, du à la fabrication de l'engrais.

L'impact des semences et des plants en énergie directe est du même ordre de grandeur que celui des engrais, hormis pour les prairies bien entendu.

3.4 Carburants

Le carburant correspond à environ 11% du flux total sans le soleil, mais est réparti essentiellement sur les prairies et les grandes cultures, puis sur la viticulture. Il est intéressant de noter que les besoins en carburant pour l'agriculture de toute la région sont équivalents aux besoins de chauffage pour 18 hectares de serres hors-sol.

La consommation totale pour la production agricole analysée ici est d'environ 5.1 millions de litres de Gazole. Les rendements de fabrication du biodiesel sont d'environ 1'150 litres de biodiesel par hectare (GNANSOUNOU E., 2008), 350 kg de glycérine et 2'200 kg de tourteaux (selon le site d'Eco Etoy, www.biodiesel.ch, consulté le 10.03.09). En prenant 36 [MJ/l] pour le diesel, on arrive donc à 41.4 [GJ/ha de Colza].

Cela signifie qu'il faudrait environ 4'500 hectares de Colza pour produire le carburant nécessaire à l'ensemble de la production agricole franco-valdo-genevoise (hors horticulture), ce qui correspond à environ 25% des surfaces « grandes cultures » ou 7% de la Surface Agricole Utile (SAU ; yc prairies) de la région FVG.

Actuellement, environ 800 ha de Colza sont exploités sur le canton de Genève et environ 2'200 ha de Colza sur l'AFVG si l'on considère la même répartition entre Colza et céréales.

A titre de comparaison, nous pouvons citer une étude historique sur la Grande-Bretagne qui constate que 25% de la surface agricole était absorbée pour la nourriture des chevaux en 1900 (PONTING C., 1991). Environ deux tiers des chevaux étaient utilisés en agriculture et un tiers pour les transports. Nous avons donc environ 16% de la surface agricole absorbée par la force de travail du cheval (sans compter la force des humains). A l'époque, les rendements par hectare étaient dix fois moindre, il est donc difficile de faire des extrapolations à l'agriculture d'aujourd'hui. De plus, la part de l'augmentation des rendements attribuables aux semences, aux pratiques culturales ou à la traction mécanisée sont difficiles à évaluer dans le cadre de ce travail.

3.5 Electricité

L'électricité calculée ici est due aux serres maraîchères. Pour la partie non animale, nous n'avons pas considérés d'autres consommations directes. Il est cependant évident que pour la transformation, par exemple du raisin en vin, de l'électricité va être consommée. Mais cela sort de notre analyse de la production agricole seule.

3.6 Chauffage

Le chauffage est nettement dominé par les cultures maraîchères intensives sous serres. Les cultures sous serres consomment environ 1165 MJ/m². A titre de comparaison, une maison Minergie doit consommer actuellement 160 MJ/m² pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

En enlevant les prairies, nous observons que le chauffage concentre les besoins les plus importants (>70%) en intrants non solaire. Il faut rappeler comme expliqué dans la partie maraîchage (voir 2.2.4) que le nombre d'hectare de serres hors sol chauffées est sans doute surestimé pour la région (45 ha) et il se peut qu'il y ait en réalité un facteur deux de chauffage en moins.

Pour le reste de l'agriculture régionale, les besoins de chauffage sont faibles, mis à part un peu de séchage d'oléagineux.

3.7 Travail humain

Globalement, l'agriculture régionale analysée ici (sans l'horticulture) consomme 6'724 GJ en terme de travail humain. Le rapport du CRFG parle de 6'000 emplois directs (CRFG, 2007). Comme nous avons pris 1 MJ par heure de travail humaine (280 W), cela correspond à 1120 heures de travail par emploi direct à un rythme élevé. En moyenne, les gens travaillant dans l'agriculture doivent réellement travailler environ le double, mais à une puissance moins élevée. L'ordre de grandeur en GJ en donc correct.

Il est intéressant de noter que le travail humain représente 0.06% du flux d'énergie entrante direct, et seulement 0.3% si l'on retire le solaire métabolisé.

3.8 Energie grise

Globalement, l'énergie grise ne représente que 5% de l'énergie totale (y compris solaire) et environ 20% de l'énergie potentiellement consommable pour l'être humain. Les calculs pour l'énergie grise sont complexes et souvent sujet à discussion, notamment à cause des frontières du système analysé. Nous avons utilisé dans cette étude des moyennes issues de la base de données Ecoinvent. Le résumé de ces données se trouve dans l'annexe 1.

Concernant les besoins en bâtiment et l'énergie grise en découlant, nous avons fait une estimation pour recouper les surfaces par UGB ou par hectare avec les surfaces réelles du canton. Les ordres de grandeur sont bons. Les détails de ce calcul se trouvent dans l'annexe 5.

3.9 Energie métabolisable par l'Homme

Il s'agit ici des produits bruts (graines, raisins, fruits et légumes) qui peuvent aller pour certains directement sur le marché alimentaire humain (typiquement les fruits et légumes) ou pour d'autres partir pour une transformation supplémentaire (typiquement les céréales).

3.10 Connections des schémas globaux bruts

Maintenant que nous avons passé en revue les différents schémas globaux par sous-système, il est important de séparer les flux internes à l'agriculture et les flux qui se retrouveront sur le marché de l'alimentation humaine. Il faut considérer les flux liés aux animaux afin de connecter les fourrages et la litière.

Au niveau des prairies, nous avons vu les problèmes d'estimer correctement les flux. Le scénario présenté est plutôt un scénario maximum. Globalement, une autre approche peut être tentée en se basant sur les flux de fumier et de lisier pour estimer les flux de fourrages des prairies :

- Flux de fumier et lisier des bovins et porcs = 1'033'496 GJ
- Flux approximatif fumier chevaux = 215'000 GJ

De manière analogue aux engrais minéraux, nous pouvons estimer à environ 50% le fumier/lisier épandu réellement intégré dans les nouvelles cultures, le solde étant perdu dans les eaux ou dégradé par les microorganismes du sol. Nous avons donc un flux entrant réel d'environ 625'000 GJ pour les prairies, en admettant que toutes les autres cultures de la région reçoivent des engrais minéraux. Selon notre bilan énergétique des prairies, ce flux correspond à environ 2'700'000 GJ de fourrages et/ou de litière pour la région FVG.

En additionnant les fourrages et litières produits par les grandes cultures, nous avons donc environ 3'250'000 GJ de fourrages et litières à disposition pour la région FVG.

Le flux de fourrage autoproduit pour les bovins est de 2'490'000 GJ et les besoins en litière est d'environ 390'000 GJ. Les besoins en fourrages des chevaux est de 215'000 GJ (voir les résultats agrégés des animaux). Les besoins des animaux sont donc d'environ 3'100'000 GJ en tenant compte des chevaux.

La différence avec le calcul de flux des prairies et des grandes cultures est de 5%.

Globalement, nous estimons donc que le flux de fourrages des prairies et des grandes cultures permet de nourrir les animaux de la région et leur apporte la litière nécessaire. Les prairies et la partie « paille » des grandes cultures sont donc considérées comme un flux interne à l'agriculture.

Nous pouvons donc agréger les autres flux de matière et d'énergie pour avoir les bilans totaux de la région FVG et du canton de Genève (hors animaux et prairies ; voir Figure 15, Figure 16, Figure 17, Figure 18, Figure 19 et Figure 20) :

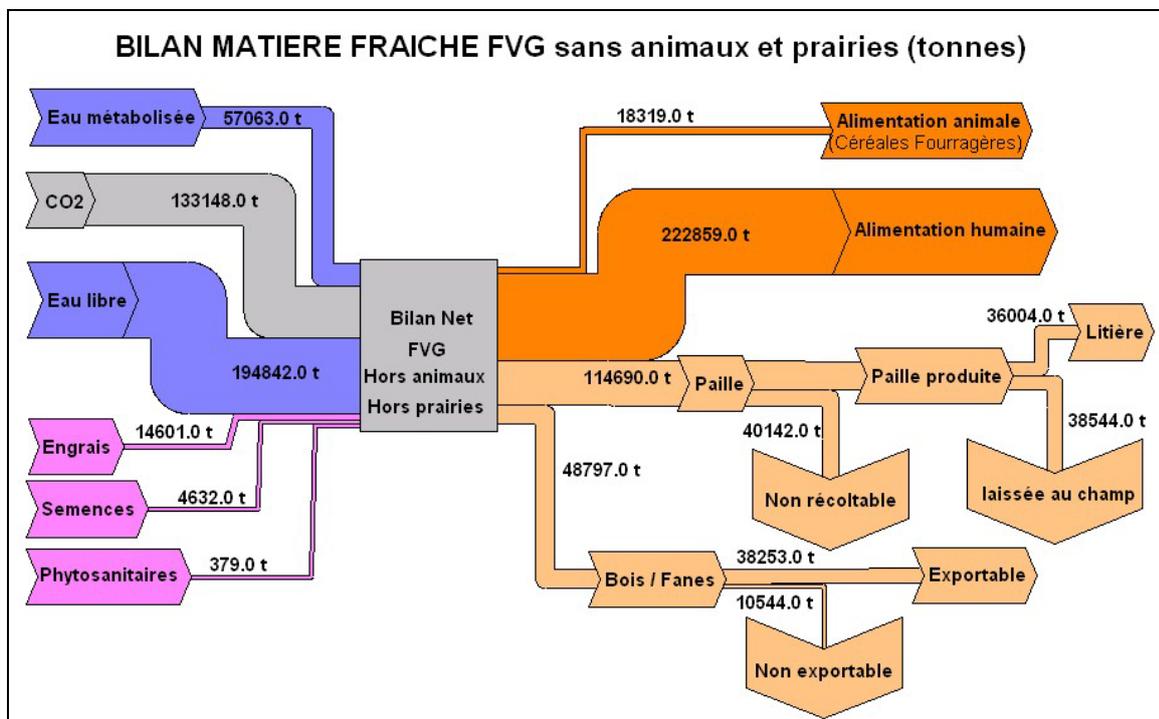


Figure 15 : bilan matière fraîche FVG en tonnes

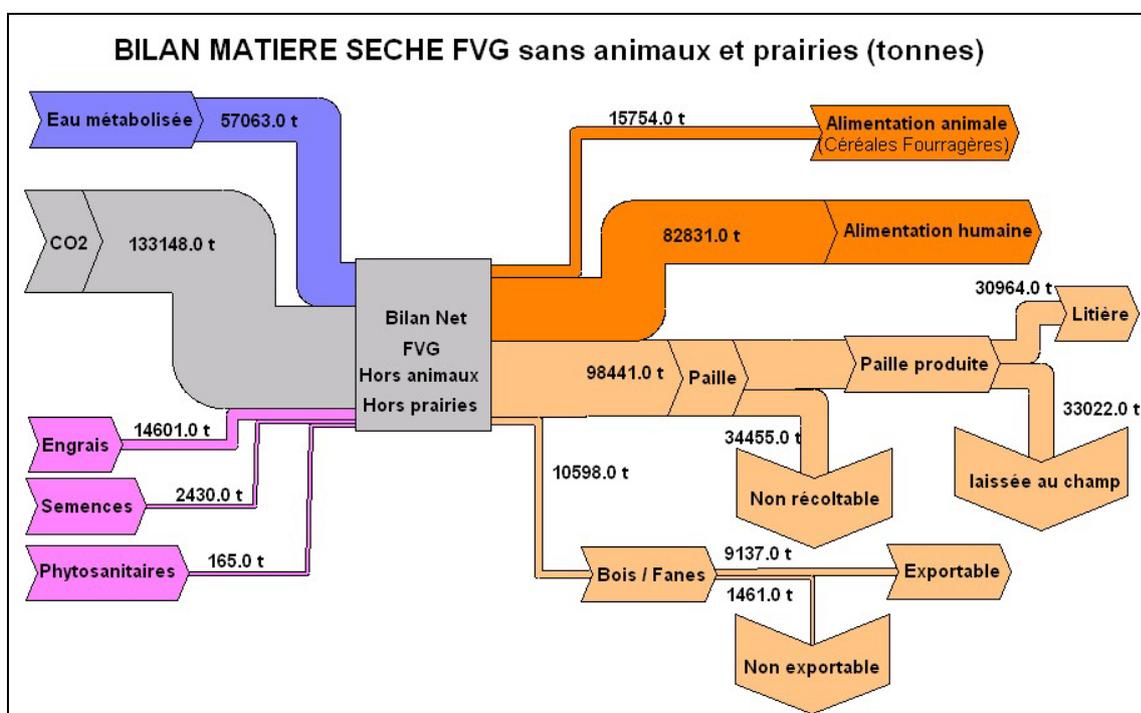


Figure 16 : bilan matière sèche FVG en tonnes

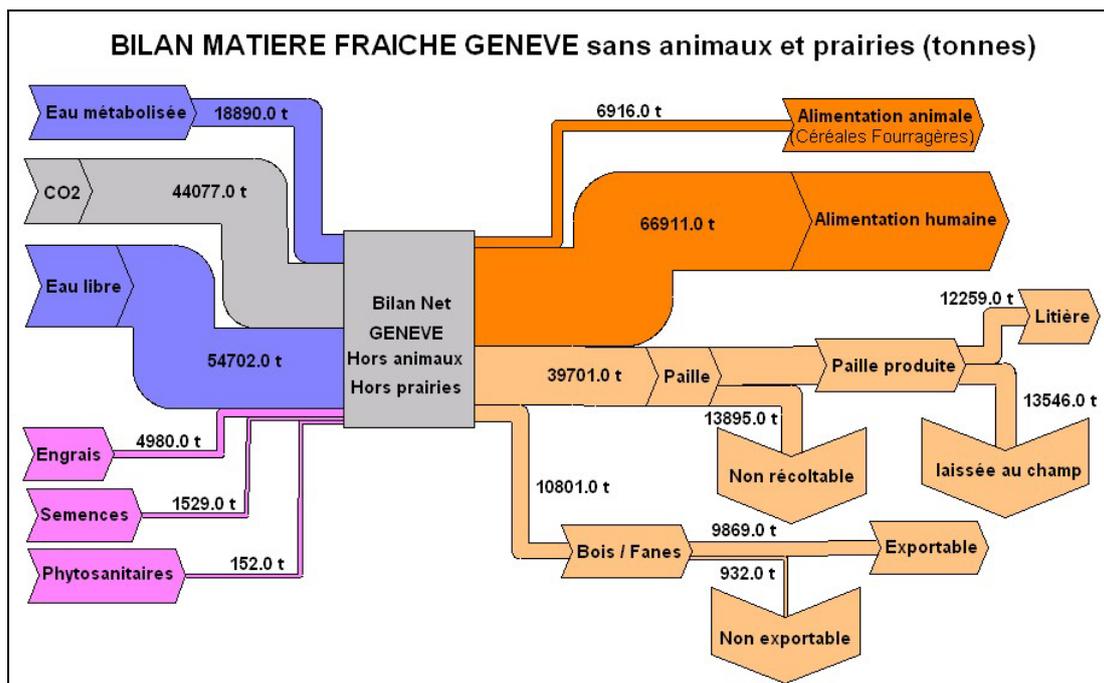


Figure 17 : bilan matière fraîche du canton de Genève en tonnes

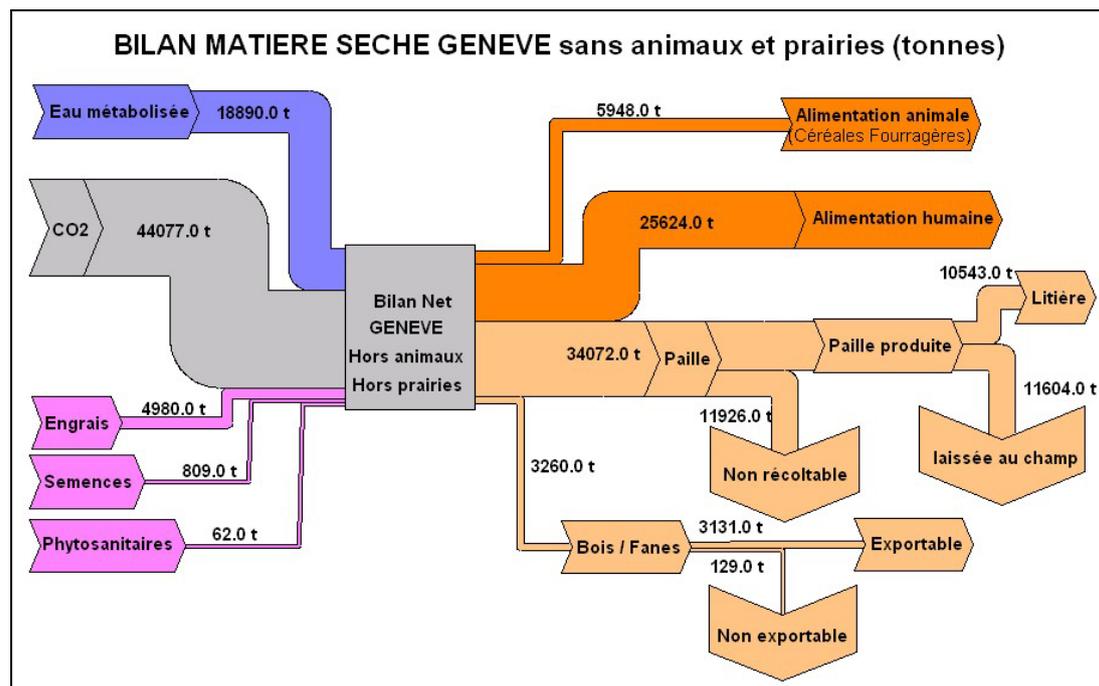


Figure 18 : bilan matière Sèche du canton de Genève en tonnes

A titre de comparaison, nous pouvons comparer les fertilisants minéraux utilisés en Suisse en 2000 (NEMECEK T. and KAGI T., 2007) avec le rapport de surface entre la Suisse et le canton de Genève (en enlevant les prairies ; voir (OFAG, 2007), annexe A4). Nous devrions avoir environ 6'250 tonnes de fertilisants minéraux utilisés sur le canton de Genève. Les ordres de grandeur sont donc corrects avec les 4'980 tonnes estimées dans ce rapport.

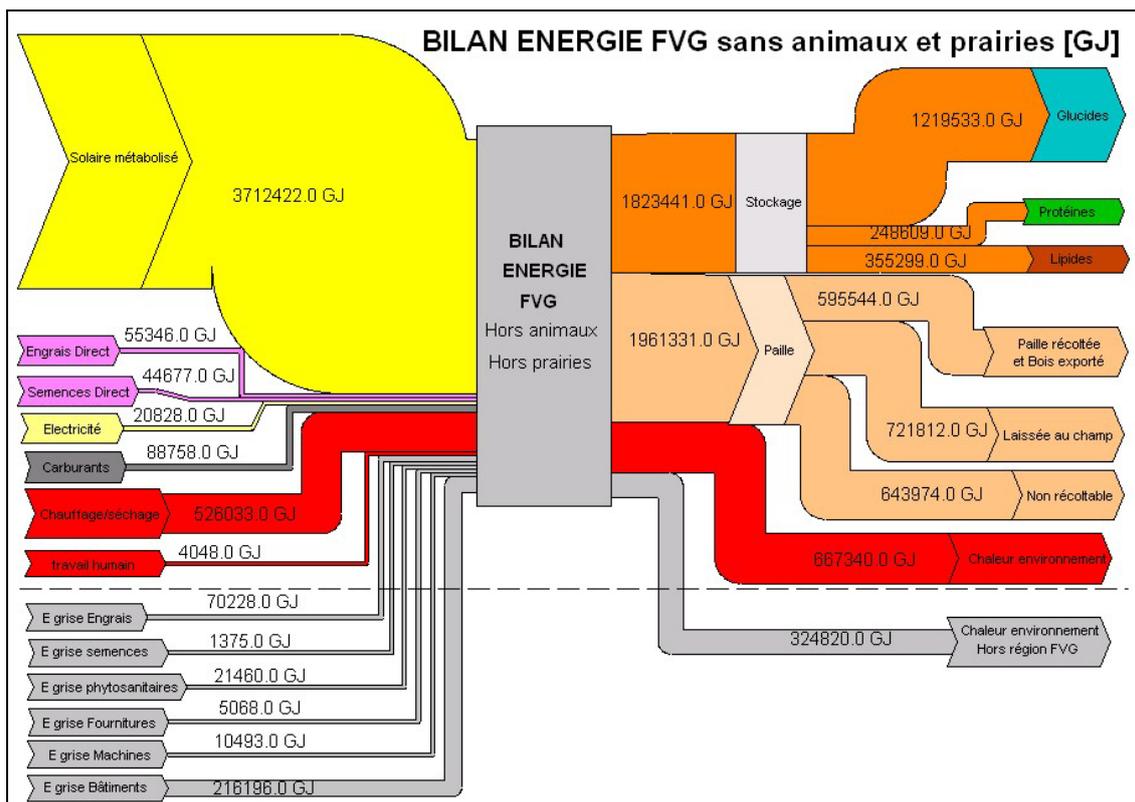


Figure 19 : bilan Energie FVG en GJ

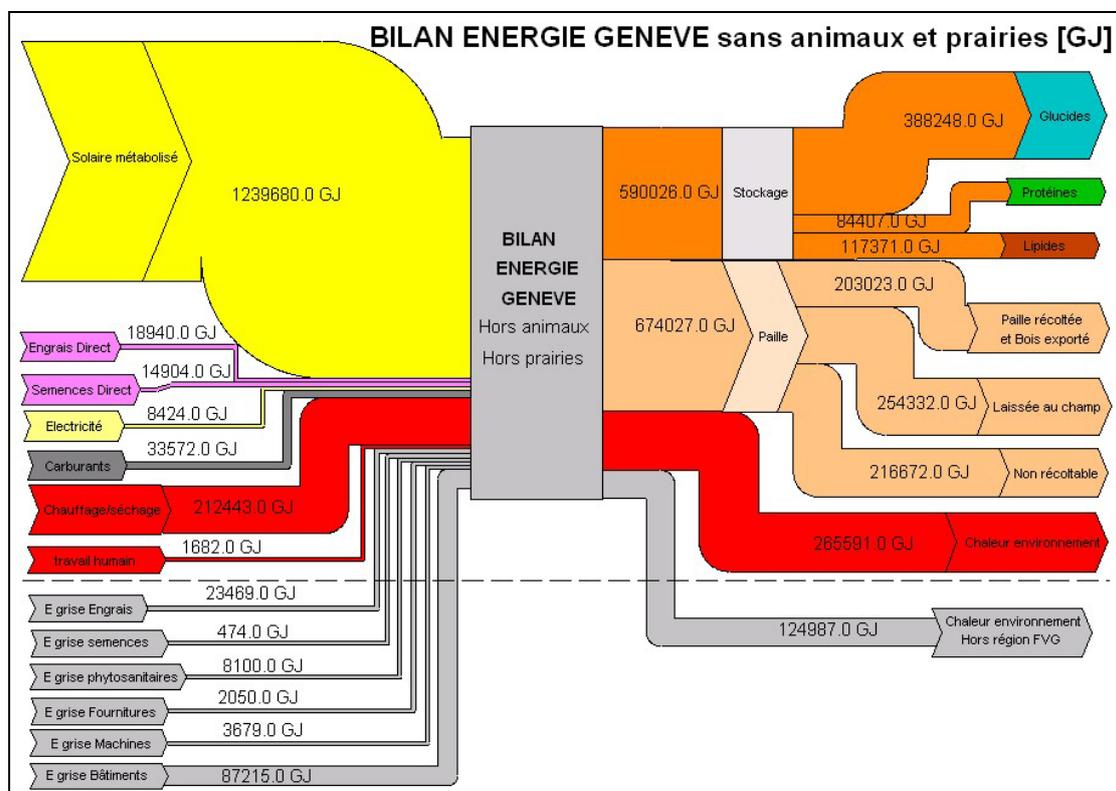
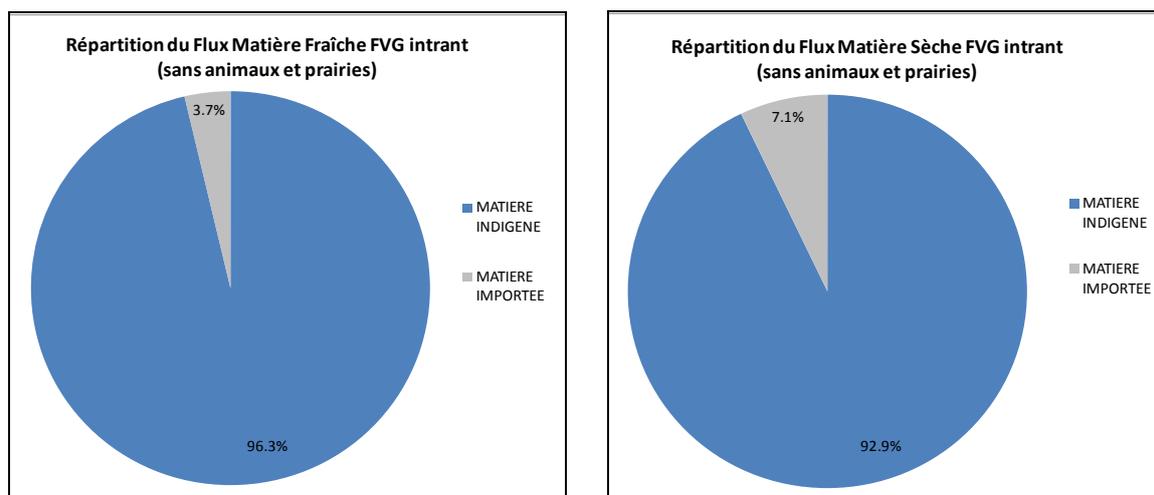


Figure 20 : bilan Energie du canton de Genève en GJ

3.11 Flux de matière et d'énergie indigène et importé

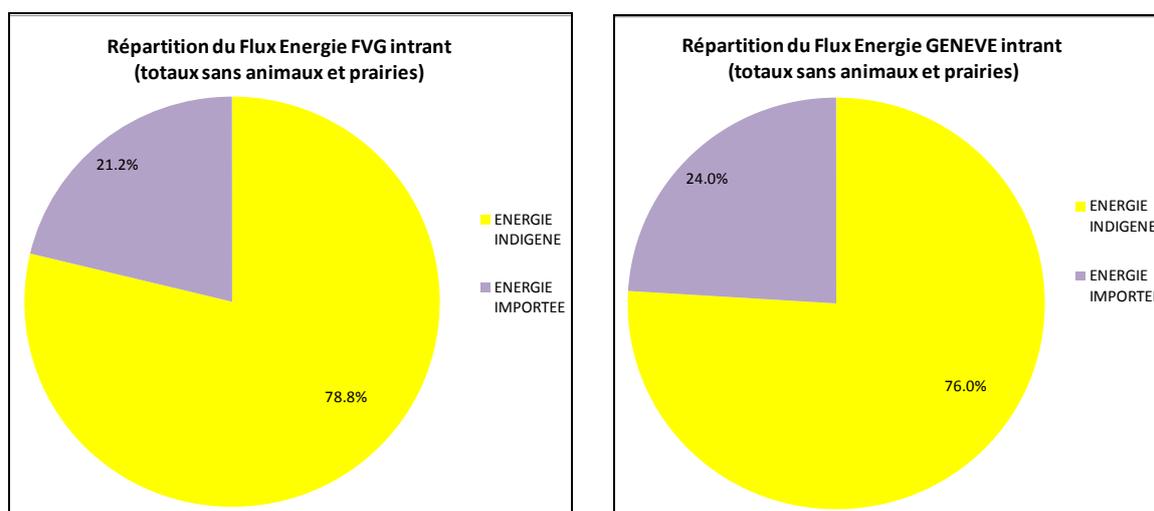
Nous pouvons maintenant schématiser la répartition des différents flux d'énergie et de matière selon leur provenance indigène ou non. Pour les flux de matière, les engrais et les phytosanitaires sont considérés comme importés. Pour les flux d'énergie, en plus des engrais et des phytosanitaires, le diesel/mazout, l'électricité ainsi que l'énergie grise sont considérés comme importés. Cela nous permet de dégager les avantages d'une analyse énergétique sur une analyse avec des flux de matière.

Pour les flux entrants, nous comparons ci-dessous les flux de matières fraîches et sèches avec ceux d'énergie (voir Graphique 1 et Graphique 2) :



Graphique 1 : répartition du flux de matière entrante fraîche (à gauche) ou sèche (à droite) entre la matière indigène et importée (région FVG)

La différence de matière importée entre les deux graphiques est due à l'eau libre, qui représente environ 50% de la matière fraîche. Les 98% de la matière importée sont en réalité les engrais minéraux.

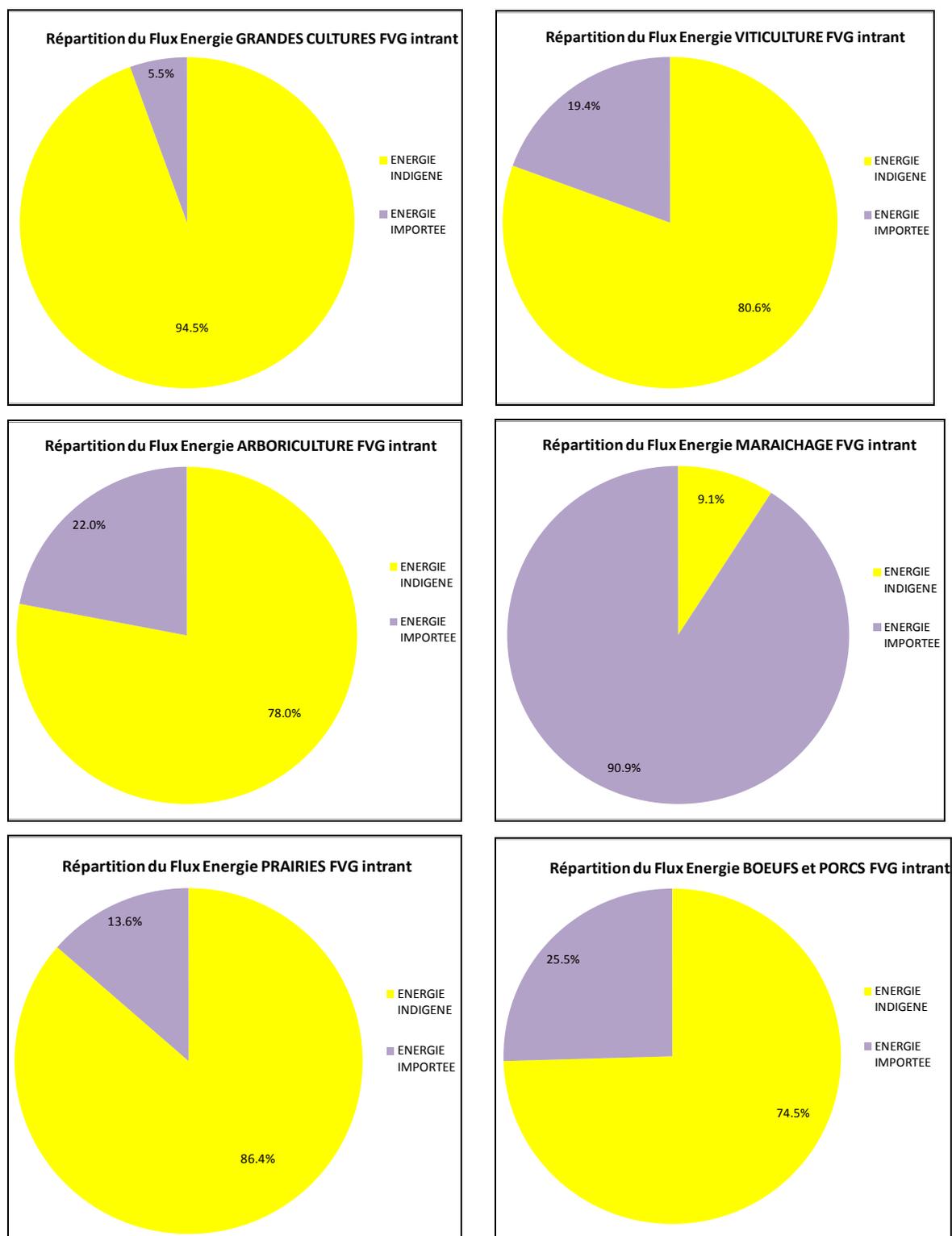


Graphique 2 : flux d'énergie entrant indigènes et importés pour la région FVG (à gauche) et le canton de Genève (à droite)

Ces flux d'énergie comprennent la partie énergie grise (environ 5% du total) ainsi que les carburants et l'électricité. Nous voyons la différence avec les flux de matières qui ne considèrent que la partie engrais et phytosanitaires. La région est trois fois plus dépendante de l'extérieur en faisant une analyse énergétique par rapport à une analyse uniquement en terme de flux de matière fraîche.

La différence de 2.8% entre la région FVG (Graphique 2 - gauche) et le canton de Genève (Graphique 2 - droite) est due essentiellement à une plus grande part de maraîchage sur Genève, qui péjore le bilan entre énergie indigène et importée. La suite de l'analyse s'est faite avec les chiffres de la région FVG pour éviter de dédoubler tous les graphiques.

Afin de voir l'influence des différents sous-systèmes sur le bilan global, nous avons également fait les graphiques de la répartition entre énergie indigène et énergie importée pour les six sous-systèmes (voir Graphique 3) :



Graphique 3 : flux d'énergie indigènes et importés par sous-systèmes (région FVG)

Nous observons que le maraîchage pèse lourdement à cause des grandes quantités de combustible fossile importés pour le chauffage des serres hors-sol. La répartition serait différente si nous ne mettons « que » 18 hectares de serres hors-sol (voir la comparaison ci-après entre Graphique 4 et Graphique 5)

Le dernier de ces graphiques a été estimé pour les porcs et les bovins, en considérant que les fourrages des bovins sont de l'énergie indigène à 86% (selon les flux des prairies) tandis que les aliments des porcs sont 100% importés. De manière plus détaillée, cela nous donne les rapports suivants entre l'énergie indigène et l'énergie totale :

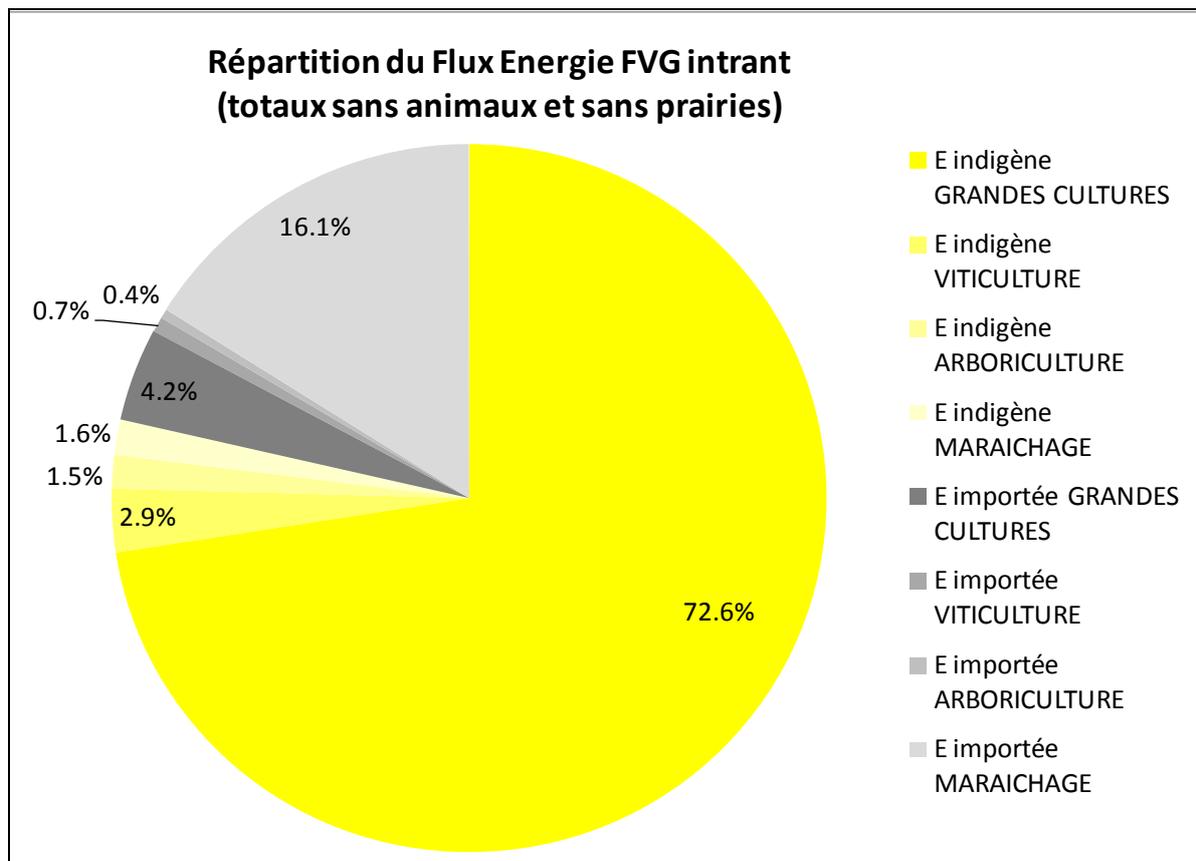
Porcs = 36%

Bovin viande = 83%

Bovin Lait = 74%

La répartition globale pour l'élevage est proche de la filière Bovin lait étant donné son influence prépondérante dans la région FVG.

En décomposant le flux d'énergie FVG sans élevage et sans prairies du Graphique 2, nous aboutissons au Graphique 4 suivant :

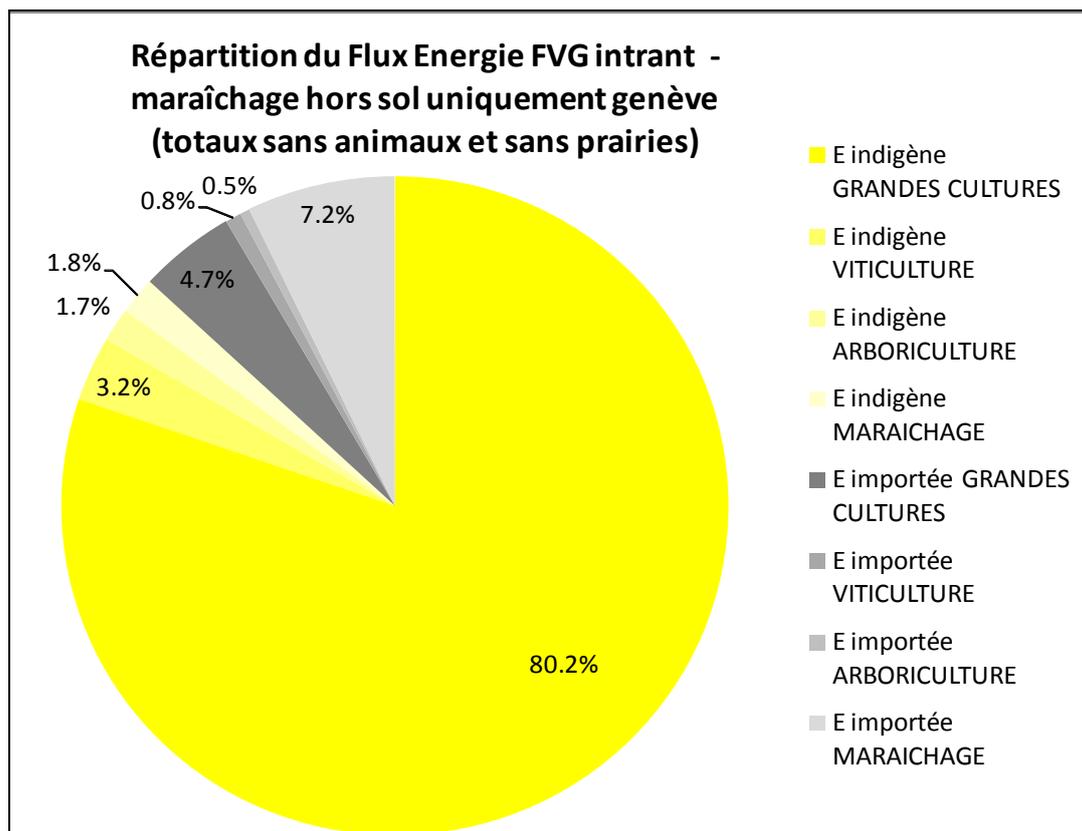


Graphique 4 : répartition des flux d'énergie selon l'apport de chaque sous-système

Il est intéressant de noter que les deux tiers de l'énergie importée pour le maraîchage n'est en réalité utilisée que pour 45 hectares de serres hors-sol, à comparer aux 21'229 hectares de cultures de la région FVG (soit 0.2% de la surface cultivée de la région, hors prairies).

Restons cependant prudent avec ce chiffre de 45 hectares qui est peut-être surestimé d'un facteur 2 (voir 2.2.4). Nous n'avons pas eu le temps d'analyser plus finement le maraîchage avec ses différences d'hectares hors-sol entre le canton de Genève et la région FVG.

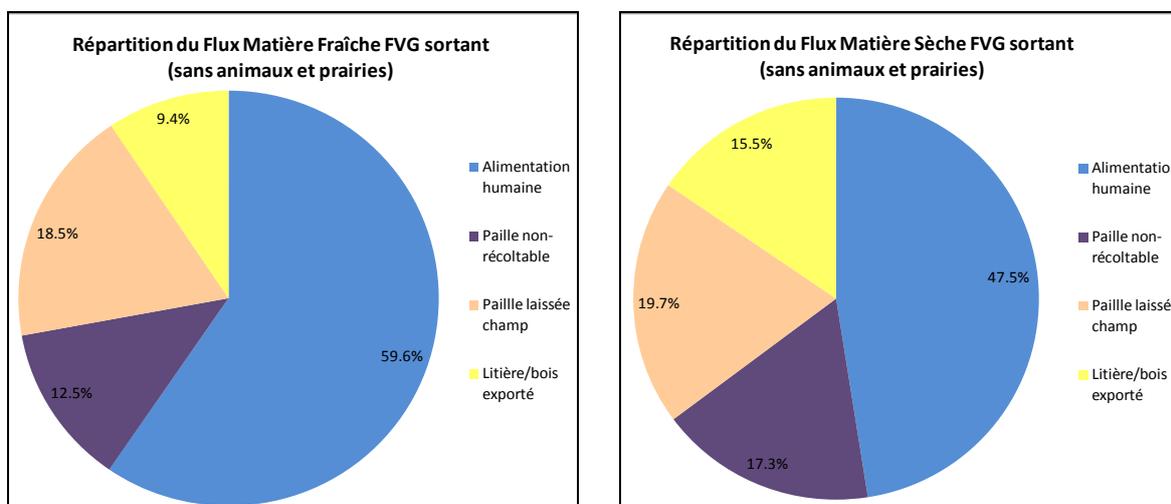
Nous pouvons tout de même voir que la répartition change passablement en ne mettant le chauffage que de 18 hectares de serres (voir Graphique 5) :



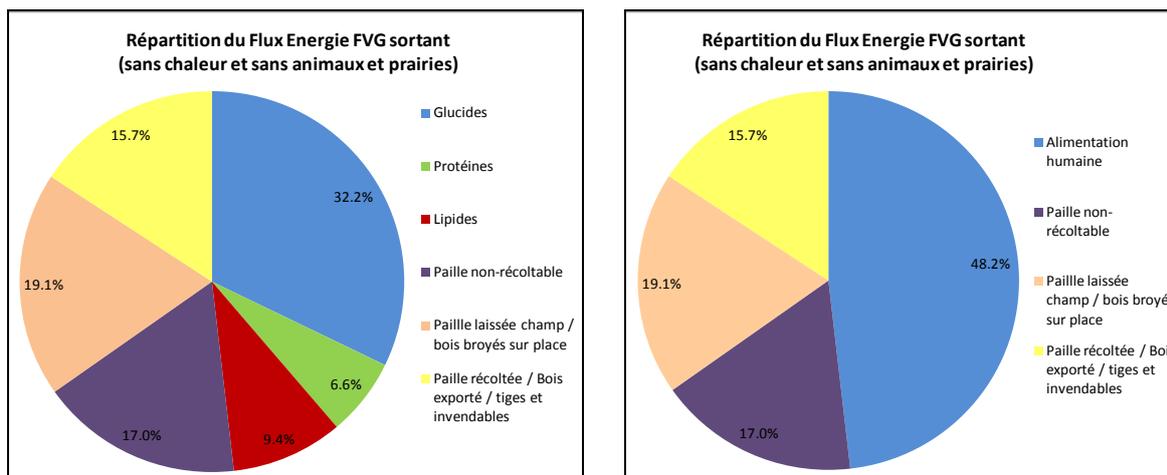
Graphique 5 : répartition des flux d'énergie selon l'apport de chaque sous-système, en prenant en compte seulement les 18 ha de serres hors-sol de Genève

Il est essentiel de voir que la majeure partie de l'énergie indigène est le captage solaire par les surfaces de grandes cultures.

Pour les flux sortants, les graphiques de matières fraîches et sèches peuvent également être comparés à ceux d'énergie (voir Graphique 6 et Graphique 7) :



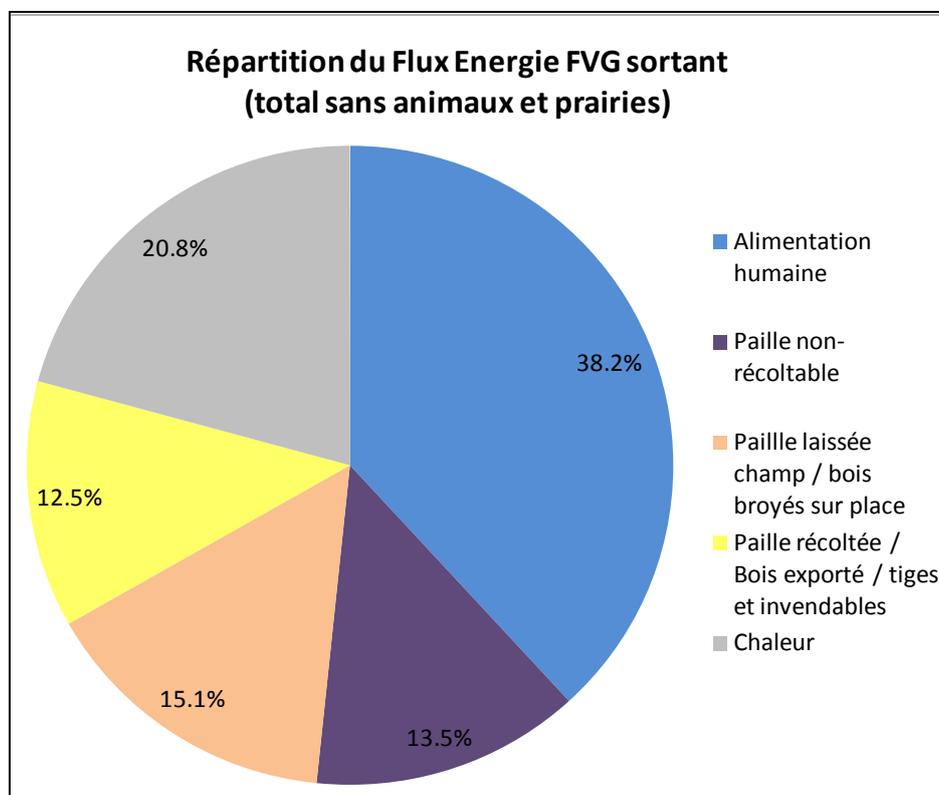
Graphique 6 : répartition du flux de matière fraîche (à gauche) ou sèche (à droite) sortante entre la l'alimentation humaine et la paille (région FVG)



Graphique 7 : flux d'énergie sortant pour la région FVG avec détail en glucides, lipides, protides (à gauche) et sans détails (à droite)

Nous observons que dans le cas des flux de sortie, les flux de matière sèche et ceux d'énergie sont identiques si nous ne prenons pas en compte les flux de chaleur dissipée. Ce flux de chaleur est du à la fois aux énergies directes comme le chauffage ou l'électricité (environ deux tiers) et aux énergies grises indirectes (environ un tiers).

L'ajout de ce flux de chaleur diminue la répartition pour l'alimentation humaine selon le graphique ci-dessous (voir Graphique 8) :



Graphique 8 : flux d'énergie sortant pour la région FVG avec la chaleur dissipée

Ce flux de chaleur correspond en réalité à pratiquement la totalité de l'énergie importée qui est dissipée sous forme de chaleur (chauffage, carburant, électricité, énergie grise et 50% des engrais).

En résumé, nous pouvons déduire que l'analyse énergétique permet de mieux comprendre les différentes provenances des intrants par rapport à l'analyse matière. En revanche, les flux sortants de l'agriculture sont à peu près équivalents entre la matière sèche et l'énergie, étant donné la base de calcul (PCS).

Nous allons désormais pouvoir comparer ces résultats de la production agricole FVG avec les besoins alimentaires afin d'estimer un taux d'autosuffisance régional.

4 Relations avec la consommation régionale

Maintenant que nous avons analysé les flux bruts de l'agriculture FVG, il est intéressant d'essayer de les comparer à la consommation réelle de la région. Rappelons que nous ne traitons pas dans ce rapport toutes les étapes de transformation des produits bruts de l'agriculture avec les produits réellement vendus aux consommateurs. De nombreux intrants énergétiques peuvent à nouveau apparaître dans ces étapes (stockage, transformation). Ce travail serait considérable et probablement impossible car les données changent et sont très fluctuantes en fonction des lieux de transformation, du nombre de transport, etc...

Nous avons donc une production alimentaire brute de la région de (voir Tableau 5) :

Unité	TOUT FVG		FVG sans les Animaux		TOUT GENEVE	
	GJ	%	GJ	%	GJ	%
PRODUCTION BRUTE	2'156'415	100%	1'823'441	100%	611'527	100%
dont Glucides	1'303'091	60.4%	1'219'533	66.9%	392'509	64.2%
dont Protéines	422'840	19.6%	248'609	13.6%	95'175	15.6%
dont Lipides	430'484	20.0%	355'299	19.5%	123'843	20.3%

Tableau 5 : production brute alimentaire de l'agriculture en GJ

Comme constaté dans le chapitre précédent, l'essentiel de l'énergie produite dans la région l'est grâce aux grandes cultures. La partie animale correspond essentiellement à une filière « lait » et augmente la part des protéines dans la production brute régionale. La partie viande comprend déjà les rendements de transformation lors de l'abatage des bêtes.

Avant de comparer ces données de production brute à celles de consommations, il faut d'abord faire un bref rappel des méthodes pour les calculs de consommation.

4.1 Méthodes de calcul et données à disposition

4.1.1 Méthodologie de la FAO

L'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) définit plusieurs types d'énergie, dont deux nous intéressent ici : l'énergie brute (correspondant au PCS) et l'énergie métabolisable (issu du facteur d'Atwater, auquel un facteur pour les fibres alimentaires peut être ajouté avec fibres = 8 [kJ/g]). L'énergie brute correspond à l'énergie contenue dans un produit de base tandis que l'énergie métabolisable correspond plutôt à l'énergie potentiellement assimilable dans un produit de base ou transformé.

La FAO a émis des recommandations pour normaliser les bilans alimentaires (voir sous www.foodsec.org, consulté le 13.03.09). Globalement, l'idée est de ramener systématiquement les produits transformés en leurs produits de base en les ventilant selon leur composition. Ensuite, les différentes sous-catégories peuvent être agrégées par type de produits (céréales, viande, etc..) pour éviter d'avoir une liste trop longue.

Ce système permet d'aboutir à des calculs du taux d'autosuffisance ou de la dépendance aux importations. La FAO souligne qu'il faut faire attention de ne pas compter deux fois un produit (par exemple, le beurre peut être dans les produits laitiers ou les graisses) et qu'il faut utiliser des unités homogènes (monétaires ou nutritionnelles).

Ces bilans sont des bilans « d'offre », c'est-à-dire qu'il représente les quantités potentiellement disponibles dans un pays ou une région. Dans un tel système, on mélange des produits bruts non transformés avec des produits bruts transformés. Ces derniers ont donc déjà subi la perte de transformation et de stockage que nous ne prenons pas en compte dans cette étude. L'Union Suisse des Paysans (USP) utilisent les méthodologies de la FAO pour calculer le taux d'autosuffisance alimentaire de la Suisse.

4.1.2 Suisse : USP-statistiques

L'USP suit les recommandations de la FAO et fait donc les calculs de bilans d'énergie et matière selon la description ci-dessus. Les résumés des bilans alimentaires sont repris dans le chapitre 6 des statistiques de l'agriculture suisse (USP, 2007). Afin de mieux comprendre comment sont faits les calculs aboutissant aux répartitions des différentes denrées alimentaires par habitant, nous avons rencontré le responsable de la section statistique de l'USP.

Nous représentons schématiquement et de manière simplifiée la démarche de l'USP pour tous les types de produits (voir Figure 21).

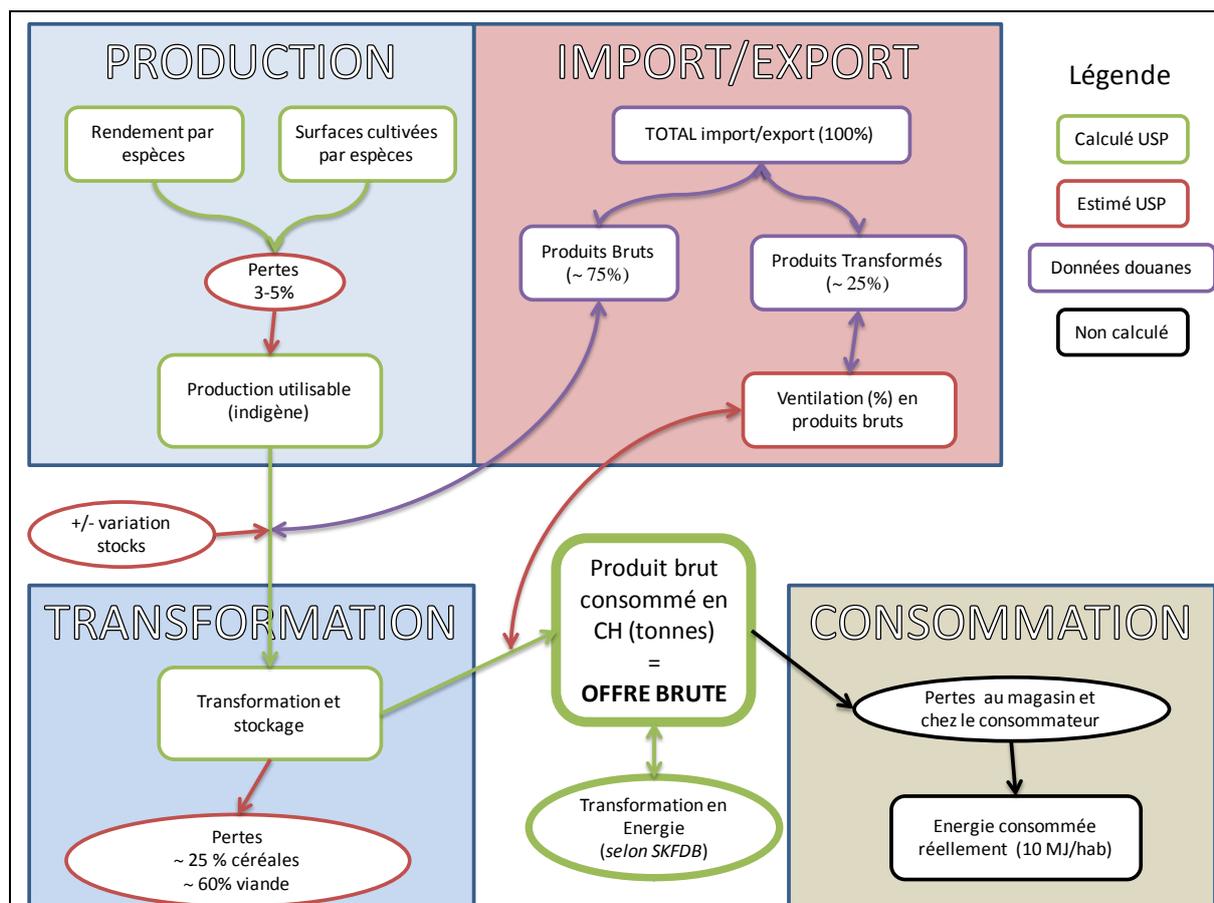


Figure 21 : représentation simplifiée de la méthode de calcul USP pour le bilan d'énergie

Nous voyons que les pertes lors de la transformation des produits bruts peuvent être élevées mais sont estimables. Dans le cas des céréales ou de la viande, l'USP a les statistiques suisses des moulins et des abattoirs, ce qui leur permet de faire des estimations sur les produits bruts qui seront mis en vente dans le commerce.

Il s'agit donc bien d'un bilan d'offre brute ne prenant pas en compte les pertes au magasin et chez le consommateur. C'est ainsi qu'en moyenne suisse, l'USP calcule une consommation énergétique de 14'000 kJ/personne par jour alors que les besoins réels du métabolisme humain sont d'environ 10'000 kJ/personne par jour. La différence correspond aux pertes dans les magasins de détails et chez le consommateur.

L'USP utilise la base de donnée Souci-Fachmann-Kraut (SFKDB, voir sous www.sfk-online.net, consulté le 23.02.09) qui fournit à l'heure actuelle plus de détails que la base de donnée de l'ETHZ, cette dernière étant celle utilisée dans cette étude car accessible gratuitement. A moyen terme, l'USP souhaite utiliser de manière plus systématique la base de l'ETHZ.

La dénomination USP prend en compte 12 sous-systèmes, eux-mêmes divisés en de multiples dénominations détaillées (USP, 2007).

En résumé, les consommations par habitants sont de (Tableau 6) :

Numéro USP	TYPE DE DENREES ALIMENTAIRES	moyenne 2000-2006		
		kg MF/hab*an	kJ/hab*jour	kJ/hab*an
1	céréales	73.8	3046	1'111'790
2	pdt + amidon	43.8	352	128'480
3	sucre,sirop et miel	56.1	2528	922'720
4	légumineuses, noix, châtaignes, cacao	8.9	367	133'955
5	légumes	91	259	94'535
6	fruits	91.9	584	213'160
7	viande	51.9	1644	600'060
8	œufs	10.3	172	62'780
9	poissons	7.9	135	49'275
10	lait et produits laitiers (sans beurre)	138.3	1992	727'080
11	huiles et graisses	22.4	2227	812'855
12	boissons	108.1	693	252'945
	SOMME	704	13'999	5'109'635

Tableau 6 : résumé de l'offre brute pour le consommateur ((USP, 2007))

A titre de comparaison, l'étude sur le métabolisme des activités économiques de Genève donne les chiffres suivants en flux de matière (voir Tableau 7) :

	TOTAL	Ménages	% ménages
	kg/personne	kg/personne	%
Céréales	102	62	61
Légumes	118	55	47
Fruits	110	55	50
Viande	63	20	32
Lait et produits laitiers	157	98	62
Boissons	157	86	55
TOTAL	708	390	55

Tableau 7 : consommation de nourriture dans les ménages (FAIST EMMENEGGER M. et al., 2003)

On estime en général que la moitié de la consommation brute est consommée dans les ménages et que l'autre moitié est consommée dans l'hôtellerie et la restauration (voir ci-dessus). Nous voyons que les consommations globales en kilo par personne sont identiques, même si les répartitions sont un peu différentes car plus détaillées dans le cas de l'USP. Nous avons utilisé les données de l'USP pour la suite de cette étude.

En considérant les données de population suivante :

- 445'000 pour le canton de Genève
- 800'000 pour la région FVG
- 7'660'000 pour la Suisse

Nous aboutissons aux consommations globales suivantes (Tableau 8) :

Numéro USP	TYPE DE DENREES ALIMENTAIRES	CANTON GENEVE		FVG		SUISSE	
		tonnes	GJ	tonnes	GJ	tonnes	GJ
1	céréales	32'841	494'747	59'040	889'432	565'308	8'516'311
2	pdt + amidon	19'491	57'174	35'040	102'784	335'508	984'157
3	sucre, sirop et miel	24'965	410'610	44'880	738'176	429'726	7'068'035
4	légumineuses, noix, châtaignes, cacao	3'961	59'610	7'120	107'164	68'174	1'026'095
5	légumes	40'495	42'068	72'800	75'628	697'060	724'138
6	fruits	40'896	94'856	73'520	170'528	703'954	1'632'806
7	viande	23'096	267'027	41'520	480'048	397'554	4'596'460
8	œufs	4'584	27'937	8'240	50'224	78'898	480'895
9	poissons	3'516	21'927	6'320	39'420	60'514	377'447
10	lait et produits laitiers (sans beurre)	61'544	323'551	110'640	581'664	1'059'378	5'569'433
11	huiles et graisses	9'968	361'720	17'920	650'284	171'584	6'226'469
12	boissons	48'105	112'561	86'480	202'356	828'046	1'937'559
	SOMME	313'458	2'273'788	563'520	4'087'708	5'395'704	39'139'804

Tableau 8 : consommation en tonnes et en GJ des denrées alimentaires de Genève, de la région FVG et de la Suisse (adapté de l'USP)

A titre de comparaison, rappelons que la consommation énergétique finale du canton de Genève est d'environ 41'675'000 GJ. Les denrées alimentaires représentent donc environ 5% de la consommation énergétique du canton, sans compter les étapes de transformation non comptabilisées.

La consommation due aux touristes a été considérée comme négligeable. En effet, la moyenne des nuitées entre 2005 et 2007 sur le canton de Genève est de 2'637'000 nuitées (<http://www.ge.ch/statistique/statistiques/domaines/welcome.asp>, sous tourisme, consulté le 01.04.09). Sur une année entière, ce chiffre représenterait environ 7225 habitants de plus, que nous avons donc considéré comme négligeable étant donné que les habitants locaux voyagent aussi.

4.1.3 France : base de donnée de l'INSEE

L'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) met à disposition une base de données conséquente, notamment sur des données agricoles et de consommation des ménages (voir sous www.insee.fr/fr/themes/, consulté le 23.02.09). Il est par exemple possible de trouver les dépenses des ménages pour leur alimentation ainsi que le poids des différentes denrées alimentaires consommées. L'évolution des habitudes alimentaires peut également être suivies (voir par exemple le Tableau 9) :

Consommation moyenne de quelques produits alimentaires (en kg par personne)					
	1970	1980	1990	2000	2005
Pain	80.57	70.64	61.69	57.56	53.92
Pommes de terre	95.57	89.01	60.77	65.99	71.97
Légumes frais (1)	70.44	88.41	86.00	90.08	87.67
Boeuf	15.62	19.25	17.11	14.02	14.12
Volailles	14.20	19.29	21.66	23.16	20.66
Oeufs	11.53	14.25	13.98	14.62	14.46
Poissons, coquillages, crustacés (2)	9.93	12.85	14.36	14.16	11.49
Lait frais (en litres)	95.24	74.03	66.36	65.94	53.87
Fromage	13.81	15.25	16.65	18.66	18.09
Yaourts	8.56	8.71	15.87	19.86	21.13
Huile alimentaire	8.08	10.84	11.07	9.92	9.66
Sucre	20.41	14.98	10.06	7.99	6.89
Vins courants (en litres)	95.57	77.07	44.74	29.13	23.73
Vins A.O.C. (en litres)	8.03	14.92	22.87	26.08	24.26
Bière (en litres)	41.43	44.22	40.09	33.79	32.44
Eaux minérales et de source (en litres)	39.90	54.68	89.97	148.56	170.80
(1) : y compris légumes, fruits et assaisonnement.					
(2) : frais et surgelés.					
Source : Insee, comptes nationaux - base 2000.					

Tableau 9 : évolution de la consommation de produits alimentaires

Ces données n'ont finalement pas été retenues pour l'analyse dans cette étude pour des questions de temps car nous n'avons pas trouvé de données transformées en énergie. Il serait sans doute possible de comparer plus en détails les habitudes et les différences alimentaires suisses et françaises pour mieux analyser la région FVG s'il y en avait besoin.

5 Taux d'autosuffisance régional et genevois

Pour effectuer le même calcul que l'USP mais au niveau de la région, nous devrions avoir à disposition des données d'import/export qui n'existent pas, étant donné que nous sommes à cheval sur deux pays et deux cantons suisse. Nous avons donc essayé de simplifier la procédure pour définir un taux d'autosuffisance régional.

Nous avons utilisé les statistiques de l'USP de consommations par habitant des différentes denrées au niveau suisse (voir Tableau 6) et les avons comparées à la production brute de la région. Un certain nombre d'estimations pour faire corroborer les dénominations de l'USP avec nos données de rendement bruts sont faites et décrites ci-après :

- Le régime alimentaire suisse correspond à celui de la région FVG ;
- Un rendement de 75% de transformation pour les grandes cultures est appliqué (ce qui veut dire que 25% de la production est perdue lors des différentes transformations en aliments consommables) ;
- Pour la viticulture, l'arboriculture et le maraîchage, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de pertes lors de la transformation (rendement de 100%) ;
- Les grandes cultures (sans les cultures fourragères) sont comparées avec la somme des céréales, des pommes de terre, des légumineuses et des graisses végétales de l'USP ;
- Les légumes sont comparés avec les légumes de l'USP ;
- Les fruits sont comparés uniquement avec les pommes et les poires (le solde étant ajouté au « solde non comptabilisé ») ;
- Le vin est comparé avec la consommation moyenne des suisses (le vin représente 45% des boissons consommées, hors boissons sucrées) ;
- Le lait est comparé avec les produits laitiers dans leur ensemble, sans pertes de transformations (rendement de 100%) ;
- Le porc et le bœuf sont comparés séparément (ils représentent respectivement 64% et 22% de la consommation totale de viande) ;
- Le « solde non comptabilisé » correspond à toutes les dénominations de produits de l'USP ne rentrant pas dans nos catégories (par exemple le sucre, la bière, les poissons) ainsi que les « produits exotiques » ne pouvant de toute façon pas être cultivés sous nos régions (bananes, riz, cacahouètes, etc...). Globalement, ces produits exotiques représentent de 10 à 15% des produits de consommations.

Nous avons effectué cette analyse à la fois selon l'énergie et selon la matière fraîche, en estimant à chaque fois un taux d'autosuffisance pour la région ou pour le canton de Genève. Une version ne prenant pas en compte la part importée de l'énergie produite a aussi été calculée. Cela nous permettra par la suite de comparer les flux de matières à ceux donnés dans l'étude sur le métabolisme des activités économiques de Genève.

Les résultats sont les suivants (voir Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14 et Tableau 15) :

REGION FVG	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Matière
PRODUCTION vs BESOINS	tonnes MF/an	tonnes MF/an	%
Grandes Cultures	107'226	73'032	68%
Viticulture - Vin	38'916	21'034	54%
Arboriculture - pommes/poires	17'277	23'320	135%
Maraîchage - légumes	72'800	64'296	88%
Viande - Bœuf	9'134	3'136	34%
Viande - Porc	26'573	553	2.1%
Lait - produits laitiers	110'640	85'569	77%
SOLDE NON COMPTABILISE	180'954		
<i>dont produits "exotiques"</i>	88'964		
GLOBAL	563'520	270'941	48%

Tableau 10 : taux d'autosuffisance selon la matière fraîche par filières de production de la région FVG

CANTON DE GENEVE	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Matière
PRODUCTION vs BESOINS	tonnes MF/an	tonnes MF/an	%
Grandes Cultures	59'644	20'543	34%
Viticulture - Vin	21'647	10'835	50%
Arboriculture - pommes/poires	9'610	2'680	28%
Maraîchage - légumes	40'495	26'005	64%
Viande - Bœuf	5'081	396	8%
Viande - Porc	14'781	396	2.7%
Lait - produits laitiers	61'544	2'697	4%
SOLDE NON COMPTABILISE	100'656		
<i>dont produits "exotiques"</i>	49'486		
GLOBAL	313'458	63'552	20%

Tableau 11 : taux d'autosuffisance selon la matière fraîche par filières de production du canton de Genève

REGION FVG	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Energie
PRODUCTION vs BESOINS	GJ/an	GJ/an	%
Grandes Cultures	1'445'053	1'028'618	71%
Viticulture - Vin	91'060	58'054	64%
Arboriculture - pommes/poires	40'074	49'438	123%
Maraîchage - légumes	75'628	57'729	76%
Viande - Bœuf	105'611	20'353	19%
Viande - Porc	307'231	3'592	1.2%
Lait - produits laitiers	581'664	270'451	46%
SOLDE NON COMPTABILISE	1'441'388		
<i>dont produits "exotiques"</i>	472'842		
GLOBAL	4'087'708	1'488'234	36%

Tableau 12 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production de la région FVG

CANTON DE GENEVE	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Energie
PRODUCTION vs BESOINS	GJ/an	GJ/an	%
Grandes Cultures	803'810	317'132	39%
Viticulture - Vin	50'652	29'905	59%
Arboriculture - pommes/poires	22'291	5'682	25%
Maraîchage - légumes	42'068	23'349	56%
Viande - Bœuf	58'746	2'900	5%
Viande - Porc	170'897	2'900	1.7%
Lait - produits laitiers	323'551	15'700	5%
SOLDE NON COMPTABILISE	801'772		
<i>dont produits "exotiques"</i>	263'019		
GLOBAL	2'273'788	397'567	17%

Tableau 13 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production du canton de Genève

REGION FVG	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Energie Indigène
PRODUCTION vs BESOINS	GJ/an	GJ/an	%
Grandes Cultures	1'445'053	971'886	67%
Viticulture - Vin	91'060	46'787	51%
Arboriculture - pommes/poires	40'074	38'567	96%
Maraîchage - légumes	75'628	5'275	7%
Viande - Bœuf	105'611	16'874	16%
Viande - Porc	307'231	1'207	0.4%
Lait - produits laitiers	581'664	200'206	34%
SOLDE NON COMPTABILISE	1'441'388		
<i>dont produits "exotiques"</i>	472'842		
GLOBAL	4'087'708	1'280'802	31%

Tableau 14 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production de la région FVG en enlevant l'énergie importée pour la production

CANTON DE GENEVE	besoins alimentaires (USP)	données production (UNIGE)	taux d'autosuffisance Energie Indigène
PRODUCTION vs BESOINS	GJ/an	GJ/an	%
Grandes Cultures	803'810	299'641	37%
Viticulture - Vin	50'652	24'102	48%
Arboriculture - pommes/poires	22'291	4'432	20%
Maraîchage - légumes	42'068	2'133	5%
Viande - Bœuf	58'746	2'404	4%
Viande - Porc	170'897	974	0.6%
Lait - produits laitiers	323'551	11'622	4%
SOLDE NON COMPTABILISE	801'772		
<i>dont produits "exotiques"</i>	263'019		
SOMME	2'273'788	345'309	15%

Tableau 15 : taux d'autosuffisance selon l'énergie par filières de production du canton de Genève en enlevant l'énergie importée pour la production

Nous voyons que le taux d'autosuffisance global de la région peut être estimé à environ 36% et celui du canton de Genève à environ 17% selon l'énergie brute. Mais ces taux sont plutôt de 48% et de 20% selon la matière fraîche. La différence plus importante pour la région FVG s'explique par l'impact quantitatif du lait, plus important côté français, qui augmente considérablement le taux d'autosuffisance dans une analyse matière. La différence entre le calcul par l'énergie et le calcul par la masse résulte également de l'impact du lait et des fruits et légumes, qui pèsent lourds dans l'analyse matière mais ne sont pas très énergétiques.

Le Tableau 14 et son taux de 31% d'autosuffisance est l'analyse la plus réaliste qui prend en compte l'aspect importation de l'énergie. Elle compare en réalité les flèches A et C de la Figure 2.

A titre de comparaison, l'étude déjà précitée abouti aux chiffres de 305'000 tonnes MF de besoins pour une production de 39'000 tonnes MF, soit un taux d'autosuffisance de 13% (FAIST EMMENEGGER M. et al., 2003). La différence de production agricole locale par rapport au Tableau 11 est due principalement à la non prise en compte de la viticulture et à une sous-estimation importante des rendements de l'horticulture/maraîchage.

Autre comparaison, le taux d'autosuffisance de la Suisse tel que calculé par l'USP est d'environ 60%, réparti grossièrement entre 45% de denrées d'origine végétale et 95% de denrées d'origine animale (OFAG, 2007), annexe A13). Ce taux est sujet à caution car il ne prend pas en compte l'énergie importée de la production, problématique notamment pour les denrées d'origine animale.

Les différents taux des tableaux précédents selon le type cultures diffèrent passablement, mettant en exergue les différentes dépendances de la région avec l'extérieur. Globalement, la région a un taux d'autosuffisance deux fois plus élevé, ce qui paraît logique vu la configuration du territoire.

Pour l'arboriculture, nous avons considéré uniquement la consommation de pommes et de poires (on ne produit pas de banane ou d'orange dans la région...), ce qui fait que la région est excédentaire pour ces deux productions, grâce à la production du district de Nyon. La production de petits fruits a été comptabilisée dans le solde extérieur au canton.

Pour les grandes cultures, la région est à deux tiers autosuffisante pour ce type de production, avec les deux tiers de la production hors canton de Genève. Les cultures fourragères données aux animaux ne sont pas prise en compte dans ces calculs.

La filière légumes est à 88% auto-suffisante au niveau de la région selon la matière, et ce chiffre pourrait être estimé à 100% si nous mettons les conserves de légumes dans le solde import. Mais en prenant en compte l'énergie indigène, ce taux chute à 7% en raison des importations de gaz nécessaire au chauffage des serres.

Concernant les filières animales, on voit une grande différence de dépendance entre la production de viande et la production laitière. La région est notamment très déficitaire concernant la production globale de viande (taux d'autosuffisance d'environ 5%), tandis qu'un tiers du lait est produit localement. Le canton de Genève est très déficitaire à la fois pour la production de lait et de viande, tout en soulignant que la Suisse est globalement excédentaire en lait et produit environ 70% de sa consommation de viande (OFAG, 2007), annexe A13).

Le solde importé comprend tous les produits non fabriqués dans la région (cacao, noix, fruits exotiques) ainsi que les œufs, poissons, boissons sucrées, viande autres que bœuf et porc, etc...

Le taux d'autosuffisance énergétique pour la nourriture de 15% pour le canton de Genève se compare aux autres domaines de consommation énergétiques. Le taux d'autosuffisance peut-être estimé pour les trois grands postes de consommations d'énergie genevoise :

- ~ 25% pour l'électricité ;
- ~ 10% à 20% pour le thermique, mais le calcul exact serait à faire car le solaire passif n'est pas facilement comptabilisé dans le chauffage des bâtiments ;
- Sans doute quelques pourcents pour la mobilité (mobilité douce à comparer à la mobilité avec carburants).

5.1 Estimation des besoins en surface

A la demande du mandataire, une estimation grossière des besoins en surface a été effectuée. Pour cela, nous avons repris les taux d'autosuffisance selon l'énergie indigène et lui avons appliqué une simple règle de trois selon les surfaces actuelles et le nombre d'habitants considérés. Nous aboutissons aux résultats suivants (Tableau 16) :

	Agglo FVG	Canton Genève	Agglo FVG / Canton GE
Types de cultures	Surface agricole utile actuelle (m ² /hab)	Surface agricole utile actuelle (m ² /hab)	Besoins de surface pour 100% autosuffisant (m ² /hab estimé)
Grandes cultures	222	135	350
Viticulture	30	30	60
Arboriculture	7	2	10
Maraîchage	6	4	10
Prairies (bœufs)	395	50	1200
SOMME	660	221	1630*

Tableau 16 : estimation des besoins en surface pour nourrir la population

*sans les cochons (64% de la viande consommée) et autres animaux (14% de la viande consommée)

Les besoins en surface pour la production de porc n'ont pas pu être calculés, faute de données sur la production protéique des aliments pour porcs. Nous pouvons estimer très grossièrement qu'il faudrait encore ajouter plusieurs centaines de m² par habitants pour cela. La quantité de viande de porc consommée par habitant (24.3 kg/an) correspond plus ou moins à un porc par personne et par année, étant donné les parties non comestibles et les pertes de transformations.

Les produits exotiques, représentant entre 10 et 15% des besoins alimentaires, ne sont pas pris en compte ici.

Il est important de préciser que ces estimations sont compliquées à faire car les données ne sont pas linéaires. En effet, de multiples facteurs peuvent influencer ces données, à la fois du côté des pratiques culturelles ou du côté des habitudes alimentaires.

Nous avons vu par exemple que la viticulture a de plus faibles rendements que les grandes cultures, ce qui paraît logique vu qu'il y a dans ce cas une recherche de la qualité plutôt que de la quantité. Il ne s'agit donc pas d'avoir uniquement des surfaces très productives dans une agriculture locale et de qualité.

Concernant les pratiques alimentaires, il est connu que la consommation de viande augmente les besoins en surfaces pour la production de cette viande. Cependant, n'oublions pas que beaucoup de ces surfaces de prairies seraient difficilement exploitable pour d'autres activités agricoles (pentes, mauvais terrains, etc.) sans compter le manque de fertilisants organiques s'il n'y avait plus d'animaux, ou encore le fait que les vaches mangent de l'herbe qui n'est pas assimilable par les êtres humains. Le débat ne nous paraît donc pas tant être pour ou contre la viande mais plutôt comment retrouver un lien proche avec les paysans locaux en consommant moins de viande mais de meilleure qualité, avec une traçabilité optimale et une confiance des consommateurs dans les méthodes d'élevages.

L'étude sur le métabolisme genevois estimait de manière très générale à environ 2'500 m²/habitant les besoins pour la production des aliments (FAIST EMMENEGGER M. et al., 2003).

5.2 Indicateur évolutif de l'autosuffisance alimentaire

De manière plus générale, il est important de prendre ces chiffres avec quelques précautions et ils doivent être compris comme des ordres de grandeur. Mais cela permet de partir sur une base simplifiée qui permettrait de calculer régulièrement un taux d'autosuffisance alimentaire régional sans développer une base de donnée trop compliquée.

Ce que nous appelons ici taux d'autosuffisance est une version simplifiée du taux calculé par l'USP au niveau suisse. La complexité du calcul de l'USP ne permettrait pas de faire un calcul à cheval sur deux pays pour de multiples raisons : accès aux données régionale de la distribution, données douanières uniquement nationales, gestion des stocks et des transports en dehors et à l'intérieur de la région, etc...

Mais l'existence du calcul de l'USP et la connaissance de la répartition entre les différents produits alimentaires permet d'utiliser ces données ramenées par habitant pour les comparer à la production brute régionale.

Cette production brute régionale a été estimée selon des enquêtes de terrain et avec un certain nombre d'approximations qui pourraient sans doute être améliorées. Il est possible de calculer un taux intégrant l'énergie importée pour la production locale des biens alimentaires. L'avantage est que ces différents flux énergétique primaire de l'agriculture sont désormais connus et peuvent être suivis et modifiés dans le temps.

Il suffit en effet de corriger les répartitions des surfaces et de multiplier à nouveau les sous-systèmes de base pour retrouver les grandes filières de l'agriculture régionale. A mesure que la qualité des données s'améliore (notamment la répartition plus précise des surfaces du côté français), la base de données peut être complétée.

Evidemment, la transformation des produits et leur flux énergétiques correspondant (transport, fabrication, stockage, etc...) ne sont pas pris en compte dans cette approche, car cela serait trop complexe à mettre en œuvre.

6 Conclusions

En tenant compte des limites intrinsèques de cette étude, nous avons pu estimer les flux de matière et d'énergie de l'agriculture franco-valdo-genevoise en découpant ces flux en six sous-systèmes : grandes cultures, viticulture, arboriculture, maraîchage, animaux et prairies. Chaque sous-système a ses particularités propres que nous avons synthétisées au mieux selon le temps à disposition.

L'analyse énergétique effectuée en parallèle à une analyse matière a permis de mettre en avant les différences selon le type de bilan. L'analyse matière ne permet que de comptabiliser les flux d'importations des engrais et semences tandis que l'analyse énergétique permet de comptabiliser le flux solaire métabolisé par les plantes. Ce flux important n'est généralement pas pris en compte, alors qu'il permet de séparer correctement le flux d'énergie indigène (solaire, humain) du flux d'énergie importé (gaz, électricité, énergie grise des matériaux, etc...) pour la production locale de nourriture.

Cette production brute régionale a été estimée selon des enquêtes de terrain et avec un certain nombre d'approximations qui pourraient sans doute être améliorées. Ces données ont dans un deuxième temps été comparées aux besoins alimentaires de l'AFVG afin de calculer différents taux d'autosuffisance régionaux selon la matière ou l'énergie. Ce taux peut être calculé en intégrant l'énergie importée pour la production locale des biens alimentaires.

Un certain nombre d'exemples utilisant les chiffres globaux de ces bilans d'énergie ont été présentés afin de rendre palpable les multiples possibilités offertes grâce à ces données de base. Nous retiendrons les exemples suivants :

- les besoins en carburant des machines agricoles de toute la région sont à peu près équivalents aux besoins de chauffage de 18 hectares de serres hors-sol ;
- pour produire le biodiesel nécessaire à toutes les machines agricoles utilisées pour la production agricole actuelle FVG (hors horticulture), il faudrait environ 4'500 hectares de Colza dédié aux biocarburants ;
- l'arboriculture FVG produit du bois par photosynthèse, qui, s'il était en partie exporté, représenterait 40% de la consommation de la chaufferie à bois de Cartigny ;
- si on voulait produire la totalité de la viande de bœuf et des produits laitiers de la région, il faudrait multiplier par trois les surfaces de prairies actuelles de la région ;
- pour les bovins viande, il faut environ 0.2 litre de diesel pour produire un kilo de viande comestible ;

Une base de données évolutive a été mise en place. L'avantage est que les différents flux énergétique primaire de l'agriculture sont désormais connus et peuvent être suivis et modifiés dans le temps. En lien avec le projet d'agglomération FVG, il serait tout à fait possible de suivre l'évolution de la dépendance de l'agriculture à l'aide d'un indicateur régional adaptable selon le nombre d'habitant et selon les surfaces et types de culture. Le taux actuel d'autosuffisance selon l'énergie indigène est de 31% pour la région FVG.

La définition exacte de cet indicateur de l'autosuffisance de l'AFVG pouvant être utilisé à long terme par les services étatiques doit encore être validée par le comité de pilotage afin d'avoir un outil qui soit opérationnel pour la DGA. Ce taux devra être compris comme une approche de la réalité et non pas comme la réalité ! Il est important que les services du canton

puissent s'approprier cet indicateur leur permettant de suivre l'évolution de l'agriculture régionale dans le cadre plus général du projet d'agglomération.

Pour conclure, notons que le taux actuel d'autosuffisance alimentaire est du même ordre de grandeur que d'autres domaines énergétiques et qu'il n'y a pas forcément de taux d'autosuffisance idéal. Nous vivons dans un monde interconnecté où de nombreux échanges ont lieu. La région a depuis longtemps été déficitaire en terme de biens alimentaires. En cette année du 500^{ème} anniversaire de Jean Calvin, rappelons simplement que le taux d'autosuffisance de la production de blé au XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles était de l'ordre de 10 à 20% (PUIZ A.-M. and MOTTU-WEBER L., 1990).

Bibliographie

ACADE, BG Ingénieurs Conseils SA, AgriGenève., 2007. Valorisation énergétique des déchets et co-produits agricoles genevois, in: Département du Territoire (Ed.). République et Canton de Genève, Genève, p. 28.

ASHRAE HANDBOOK, 1989. Fundamentals. SI Edition, Atlanta.

CRFG, 2007. L'agriculture dans l'aménagement du territoire franco-valdo-genevois : synthèse. comité régional franco-genevois, Genève.

DEMEYER A., JACOB F., JAY M., MENGUY G., J., P., 1982. La conversion bioénergétique : du rayonnement solaire et les biotechnologies. Technique et Documentation Lavoisier, Paris.

ETAT DE GENEVE, 2005. Plan directeur cantonal de l'énergie 2005-2009, Service cantonal de l'énergie (ScanE),
Département du Territoire, Genève.

ETAT DE GENEVE, 2008. Rapport d'activité 2007, Direction générale de l'Agriculture, Département du Territoire, Genève.

FAIST EMMENEGGER M., FRISCHKNECHT R., CORNAGLIA L., RUBLI S., 2003. Métabolisme des activités économiques du canton de Genève - Phase 1. ESU-services, MANECO, Genève, p. 47.

FAIST M., 2000. Ressourceneffizienz in der Aktivität Ernähren. ETHZ, Zurich.

FAO, 2003. Food Energy - methods of analysis and conversion factors. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

FARINEAU J., MOROT-GAUDRY J.-F., 2006. La Photosynthèse : processus physiques, moléculaires et physiologiques. INRA, Paris.

GNANSOUNOU E., 2008. Les Biocarburants : filières techniques, Journée du CUEPE 2008 "Biocarburants : Joker énergétique ?". Université de Genève, Genève.

HOLLMULLER P., LACHAL B., JABOYEDOFF P., REIST A., GIL J., DANLOY L., 2002. GEOSER : Stockage solaire à court terme en serres horticoles. Université de Genève, Genève.

JOLLIET O., 1993. Bilan écologique de la production de tomates en serre. Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture 25 (4), pp. 261-267.

LACHAL B., 2009. cours de base Physique et Technique de l'énergie. MUSE, Université de Genève.

NEMECEK T., KAGI T., 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent report 15, Zurich.

NOTTRODT A., 2001. Technische Anforderungen und allgemeine Empfehlungen für si Entsorgung von Tiermehl und Tierfett in Verbrennungsanlagen, Berlin.

OFAG, 2007. Rapport agricole. Office fédéral de l'Agriculture, Berne.

PONTING C., 1991. A green History of the World. Penguin Books, London.

PUIZ A.-M., MOTTU-WEBER L., 1990. L'économie genevoise, de la Réforme à la fin de l'Ancien Régime XVIe-XVIIIe siècles. Georg et SHAG, Genève.

RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. DUNOD, Paris.

SOFIES, 2009a. Performance environnementale du vin rouge de Genève, Direction générale de l'Agriculture, Département du Territoire, Genève.

USP, 2007. Statistiques et Evaluation concernant l'agriculture et l'alimentation, USP statistiques. Union Suisse des Paysans, Brugg.