



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département du territoire

Service cantonal de gestion des déchets

LE RECYCLAGE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION À GENÈVE

Synthèse des travaux réalisés par le service cantonal de gestion des déchets
entre 2002 et 2006, sous l'égide du groupe de travail Ecosite,
pour faire face à l'épuisement programmé des gravières genevoises
et des volumes disponibles correspondants pour l'entreposage
des déblais et des matériaux inertes

*Auteurs : David Rochat, Suren Erkman et Daniel Chambaz
et la participation de Ecoservices SA*

Juin 2006

1. Résumé.....	3
2. Introduction.....	5
3. Problématique des matériaux de construction à Genève.....	7
3.1 La grave naturelle, une ressource en voie de raréfaction.....	7
3.2 Le recyclage : la solution ?.....	8
3.3 Un problème d'organisation et de coordination.....	9
3.4 Ecobilan.....	10
3.5 L'avis des professionnels.....	12
3.6 Objectifs à atteindre.....	13
4. Le cadre légal.....	14
4.1 La réglementation.....	14
4.1.1 Réglementation suisse.....	14
4.1.2 Réglementation genevoise.....	14
4.2 Les normes.....	15
5. Les matériaux.....	16
5.1 Les flux de matériaux.....	16
5.2 Les bétons.....	19
5.2.1 Généralités.....	19
5.2.2 Le béton recyclé.....	20
5.3 Les graves.....	22
5.3.1 Généralités.....	22
5.3.2 La grave naturelle.....	23
5.3.3 La grave anthropique.....	26
5.4 Les matériaux d'excavation.....	28
5.4.1 Généralités.....	28
5.4.2 Potentiel de recyclage des matériaux d'excavation.....	29
5.5 Les bitumineux.....	31
5.5.1 Généralités.....	31
5.5.2 Problématique environnementale.....	32
6. Vers une réutilisation des matériaux inertes.....	37
6.1 Les débouchés possibles.....	37
6.1.1 Routes, trottoirs et pistes cyclables.....	37
6.1.2 Comblement des fouilles SIG.....	38
6.1.3 Comblement des parafoilles et remblais sans exigences particulières.....	39
6.1.4 Comblement de gravières.....	40
6.1.5 Composants de béton maigre, de béton de construction armé et de béton spécial.....	41
6.1.6 La stabilisation.....	41
6.2 Matériaux inertes : état des lieux des pratiques actuelles.....	42
6.2.1 Les entreprises productrices de grave alluvionnaire et de grave recyclée.....	42
6.2.2 Les entreprises de terrassement.....	42
6.2.3 Les entreprises de gros œuvre.....	43
6.2.4 Les entreprises de génie civil.....	44
6.3 Propositions.....	45
6.3.1 Tableau de synthèse des matériaux utilisés et recommandés pour divers types de travaux.....	46
7. Aspects économiques.....	49
7.1 Prix du béton.....	49
7.2 Prix des graves.....	50
7.3 Instruments économiques d'incitation.....	51
7.4 Cas pratiques de transactions.....	52
8. Récapitulation, recommandations et plan d'action.....	54
8.1 Récapitulation.....	54
8.2 Recommandations.....	55
<i>Pour une meilleure coordination.....</i>	55
8.2.1 Recommandations techniques.....	55
8.2.2 Définir le rôle de chacun.....	56
8.2.3 Mesures relevant directement de l'Etat.....	56
8.3 Plan d'action.....	57
9. Glossaire.....	58
10. Références.....	63

1. Résumé

Depuis plusieurs années, le Service cantonal de gestion des déchets de Genève (GEDEC) s'efforce de créer les conditions favorisant une réutilisation systématique des matériaux inertes dans le secteur de la construction.

C'est ainsi que le GEDEC a commandé dès 2002 une série de rapports, afin d'établir un état des lieux de l'usage des matériaux de construction dans le canton, du potentiel de recyclage des déblais et des déchets de démolition des bâtiments et des routes, ainsi qu'une analyse économique de cette filière. Ces études ont permis de lancer une réflexion sur le développement de la production de béton et de bitume à partir de déchets inertes recyclés, prenant en compte non seulement les aspects économiques et techniques, mais également la perception que les différents acteurs de cette filière ont de ces nouvelles activités.

La présente publication offre une synthèse de ces différentes études, présentant de manière globale la problématique des matériaux inertes dans le canton de Genève. En d'autres termes, il s'agit de présenter, dans un même document, un tour d'horizon technique, législatif et pratique de l'usage de ces matériaux dans la perspective d'un recyclage systématique.

Cette démarche trouve sa motivation dans un constat simple: sous sa forme actuelle, l'usage des matériaux de construction à Genève n'est pas durable. Les ressources en graves naturelles du canton seront rapidement épuisées si rien n'est entrepris. En corollaire, les volumes de décharge nécessaires à l'entreposage des matériaux d'excavation (déblais) issus des chantiers genevois disparaîtront eux aussi.

Il semble que le meilleur moyen de prévenir de futures pénuries réside dans la mise en place d'un recyclage systématique lorsque cela est possible. Bien que les expériences étrangères démontrent la faisabilité technique du recyclage des matériaux de construction, et que les professionnels genevois paraissent à priori prêts à le pratiquer, les matériaux inertes ne sont aujourd'hui pas suffisamment recyclés ou valorisés à Genève. Cette situation peut s'expliquer par un manque d'expérience dans le domaine, par l'absence d'une organisation adéquate de la filière, ce qui péjore les rares tentatives sur le plan économique, mais surtout parce que la profession n'est pas encore prête psychologiquement à s'engager dans cette voie.

La présente synthèse commence par passer en revue le cadre législatif et réglementaire. En effet, afin de permettre aux professionnels de pratiquer un recyclage efficace, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV, anciennement OFEFP) a édicté des directives fédérales décrivant en détail plusieurs classes de matériaux secondaires obtenus à partir de déchets inertes. Ces directives précisent également l'usage recommandé pour chacun de ces matériaux. Ensuite, le lecteur trouvera un résumé des spécificités techniques et des possibilités de recyclage pour les graves, le béton, les matériaux d'excavation et les bitumineux.

La section suivante examine les débouchés possibles pour les matériaux secondaires, en fonction des différents types de travaux. Un état des lieux pratique permet de constater que pour l'instant, la grave alluvionnaire est trop souvent utilisée, alors qu'un matériau recyclé conviendrait parfaitement dans la plupart des cas.

Ensuite, une analyse des coûts montre que les produits recyclés présentent un léger surcoût à Genève pour l'instant. Toutefois, la généralisation de leur utilisation devrait faire diminuer les prix, ce qui rendrait les matériaux recyclés compétitifs par rapport aux matériaux primaires.

Enfin, ce document présente les différents modes d'action et de mise en œuvre dont dispose l'Etat afin d'encourager l'utilisation des matériaux recyclés dans le secteur de la construction. Hormis les contraintes financières, une série de mesures d'accompagnement apparaissent nécessaires afin de garantir un approvisionnement en matériaux recyclés de qualité à des prix concurrentiels, ainsi que leur utilisation systématique. En imposant l'utilisation de matériaux recyclés sur ses propres chantiers, l'Etat donnera l'exemple, encourageant les constructeurs privés à se lancer dans cette voie. Les réticences des professionnels de la construction vis-à-vis des matériaux de recyclage devraient ainsi s'estomper progressivement.

En conclusion, le présent rapport montre que le potentiel d'une gestion durable des matériaux inertes à Genève est énorme, et qu'il est possible d'envisager l'avenir dans ce secteur de manière relativement optimiste.

2. Introduction

En 2001, le canton de Genève a été l'une des toutes premières collectivités publiques à donner une base légale à la démarche pionnière de l'écologie industrielle, en introduisant cette notion dans la loi sur l'Agenda 21 cantonal.

L'écologie industrielle ambitionne de rapprocher le fonctionnement du système industriel de celui des écosystèmes naturels, pour assurer leur survie mutuelle à long terme. Elle vise une valorisation systématique des ressources, notamment en favorisant des synergies entre acteurs économiques (le déchet d'une entreprise devenant une matière première pour une autre). Ce domaine, qui s'est développé au cours des années 1990, constitue une approche particulièrement novatrice des enjeux environnementaux.

L'article 12 de la loi sur l'Agenda 21 cantonal encourage la pratique de l'écologie industrielle à Genève. Sur cette base, l'administration cantonale a lancé le projet Ecosite en 2002.

La première phase du projet a consisté à effectuer une étude des flux de ressources constituant la base des activités économiques dans le canton de Genève (GEDEC, 2005; Faist-Emmenegger et al., 2003¹). Cette étape préliminaire avait pour but de mieux comprendre le fonctionnement de «l'écosystème industriel genevois», afin d'identifier les problèmes prioritaires et de déterminer en connaissance de cause les actions à entreprendre.

Il est ressorti de cette étude que les matériaux de construction dominant largement en masse les autres flux de matières dans le canton, hormis l'eau. Alors qu'une part significative de la grave utilisée à Genève est déjà importée de France voisine, le développement prévisible de la région franco-valdo-genevoise accentuera assurément la pénurie de grave naturelle à disposition dans le canton. En même temps, la quantité de déblais et de matériaux inertes, produits par les activités de construction (déchets de chantiers) et de démolition, ira en augmentant. La mise en décharge de ces matériaux, outre le problème du manque d'espace disponible, représente un gaspillage caractérisé de ressources utilisables.

En 2002, désireux de stimuler l'intérêt des professionnels genevois concernés, le service cantonal de gestion des déchets de Genève (GEDEC) organisa une visite de l'entreprise zurichoise Eberhard AG, qui utilise du béton recyclé avec succès depuis plusieurs années. Quelques mois plus tard, riche de l'expérience zurichoise, le GEDEC invita le 11 décembre 2002 les principaux fabricants de béton et producteurs de graves du bassin genevois pour une journée d'information et d'échanges. Ce processus de consultation avait pour objectifs d'identifier les problèmes à résoudre et de discuter d'un plan d'action pour l'avenir.

Dans ce contexte, le GEDEC commanda dès 2002 une série d'études, ayant pour but principalement :

- d'établir un état des lieux de l'usage des graves dans le canton;
- d'évaluer le potentiel de recyclage et de réutilisation des déchets de démolition de bâtiments et de routes;
- d'effectuer une analyse économique des différents scénarios possibles pour la valorisation des matériaux inertes dans le secteur de la construction.

Ces études ont permis, en particulier, de lancer une réflexion sur le développement de la production de béton et de béton bitumineux à partir de déchets inertes recyclés, prenant en compte la perception et les points de vue des différents acteurs de cette filière.

¹ Les références complètes des documents cités se trouvent dans le dernier chapitre (Chapitre 10)

La présente publication offre une synthèse de ces différentes études, présentant de manière concise les principaux éléments de cette problématique dans le canton de Genève, à savoir : l'état actuel de l'usage de matériaux inertes pour la construction, les actions à entreprendre, et les problèmes à résoudre pour une utilisation systématique de matériaux recyclés.

La première section présente la problématique des matériaux inertes, les enjeux à prendre en compte, et les objectifs visés. La deuxième section offre un rappel du contexte législatif et réglementaire. La troisième section traite spécifiquement des matériaux inertes, en incluant des données techniques, ainsi que les possibilités de réutilisation et de recyclage. La section suivante analyse les aspects économiques, en particulier les coûts liés à l'utilisation de matériaux recyclés. Finalement, le lecteur trouvera une synthèse des recommandations et des problèmes à résoudre, ainsi que des moyens de mise en œuvre dont dispose l'Etat de Genève pour inciter à l'usage systématique de matériaux recyclés.

3. Problématique des matériaux de construction à Genève

3.1 La grave naturelle, une ressource en voie de raréfaction

Le document SIA D 0146 f, intitulé «béton et environnement», estime la consommation annuelle suisse de granulats à 24 millions de tonnes pour la production de béton, et à environ 50 millions de tonnes pour la branche de la construction en général. Par ailleurs, ce document indique que seul 1 % de cette quantité consommée se reconstitue naturellement chaque année. Les réserves de gravier et de sable sont par conséquent en constante diminution, certaines régions de Suisse devant déjà faire face à une pénurie.

La Figure 1 (ci-dessous) montre que la diminution des réserves exploitables n'est pas seulement due à l'exploitation de gravier, mais également à des restrictions d'occupation du sol en surface et au développement du tissu urbain.

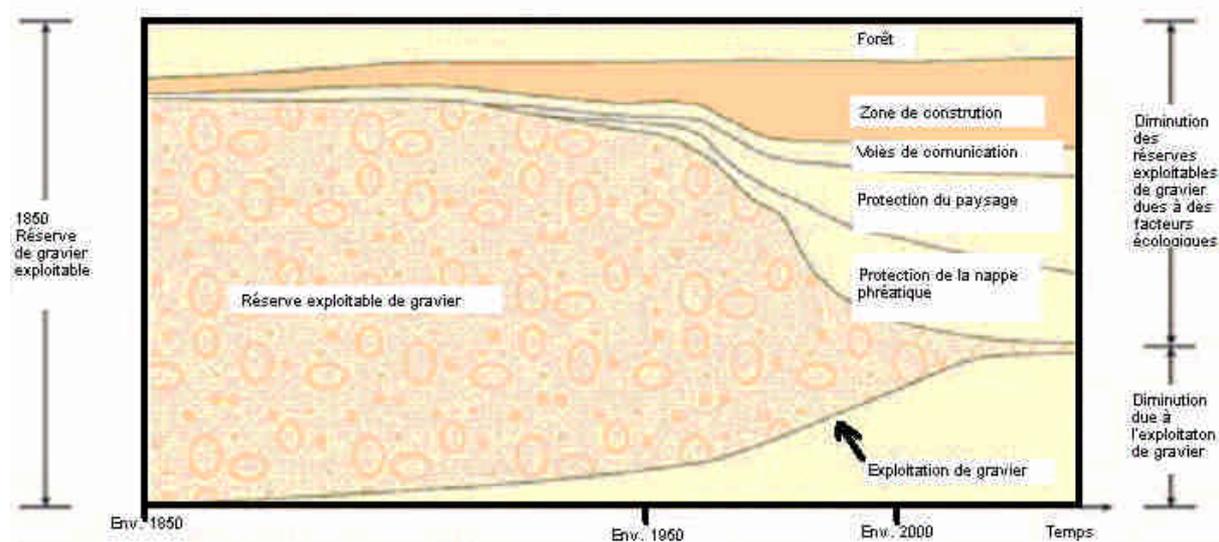


Figure 1: Diminution des réserves exploitables de gravier depuis 1850 (Source : SIA, 1998).

En 1999, le service cantonal de géologie a estimé la quantité de gravier disponible dans le sous-sol genevois à 56 millions de m³. Selon Jean-François Houmard, il s'agirait d'une estimation optimiste (Houmard, 2004). Ce dernier a modélisé la durée de vie des ressources naturelles de graves selon un stock correspondant respectivement à 100 %, 75 %, 50 % et 25 % de cette estimation sur la base d'une consommation égale à celle de 2003 qui se monte à 800'000 m³ de grave extraite du sous-sol genevois. (Figure 2).

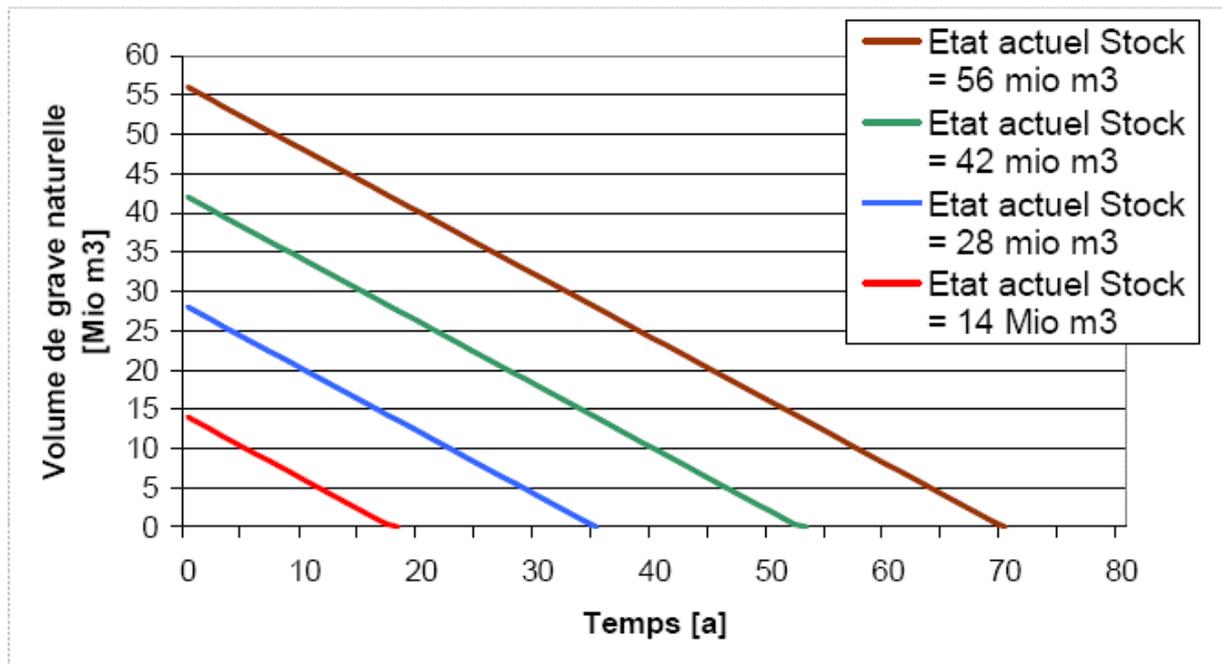


Figure 2: Durée de vie de la grave naturelle genevoise selon plusieurs hypothèses.

Selon ces évaluations, la durée de vie des réserves de gravier varie de 17 à 69 ans, soit au maximum à peine trois générations. Si rien n'est entrepris, et si la consommation reste équivalente à celle d'aujourd'hui (voire augmente), la durabilité de l'approvisionnement en grave pour la construction ne sera pas assurée. On se trouverait alors confronté à une sérieuse pénurie de cette matière première.

Or, selon le Service cantonal de géologie, plus de 800'000 m³ de matériaux finissent dans les décharges cantonales chaque année. Il s'agit principalement de matériaux d'excavation, qui contiennent une part non négligeable de granulats utilisables.

3.2 Le recyclage : la solution ?

Parallèlement aux études lancées par le GEDEC sur la problématique des graves, l'étude en cours sur le métabolisme des activités économiques du canton de Genève (Faist-Emmenegger et al., 2003) livrait un résultat surprenant : une part importante des déchets de chantiers semblait être déjà recyclée ! Etait-il dès lors nécessaire que l'Etat intervienne dans la gestion de ces déchets ?

Après un examen détaillé de ce résultat, il apparut qu'en fait de recyclage, les entreprises de construction pratiquent le «downcycling», à savoir une réutilisation des matériaux pour des applications dégradées, moins exigeantes. En clair, les entreprises utilisent les déchets de démolition pour remblayer des fouilles ou pour d'autres travaux de terrassement, s'évitant ainsi les frais de mise en décharge. Bien que motivée par des facteurs purement économiques, cette pratique présente l'avantage d'éviter la mise en décharge de ces déchets. Elle peut être cependant source de pollution et ne permet pas une préservation maximale des ressources. Cette pratique illustre bien le fait qu'il importe de suivre certaines règles pour un recyclage efficace, car le recyclage n'est pas forcément positif en soi.

De telles règles, concernant le recyclage des matériaux inertes, ont été édictées par l'OFEV au travers de deux directives :

- la directive pour la valorisation des déchets de chantiers minéraux (1997) ;
- la directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (1999).

La mise en place d'une gestion durable des ressources en graves du canton passera nécessairement, entre autres, par le respect de ces directives.

3.3 Un problème d'organisation et de coordination

L'application stricte des normes et des directives ne suffit pas à elle seule à assurer la durabilité de la gestion d'une ressource. Le cas concret de deux grands chantiers voisins, mis en évidence par une modélisation d'Ecodéchets Sàrl² (Ecodéchets, 2002), montre qu'il est également nécessaire de mettre en place une coordination des chantiers. En effet, le manque de coordination handicape le développement du recyclage des déchets inertes, et participe à l'épuisement des ressources en graves naturelles.

Cet exemple fait bien ressortir les opportunités manquées du fait de l'absence de concertation entre les différents acteurs, principalement en phase de planification (Maître de l'ouvrage, Entreprise générale, bureau d'architectes ou d'ingénieurs). Sur le premier chantier, la démolition des anciens bâtiments a généré environ 25'000 m³ de graves de béton. Ces graves ont été utilisés pour les travaux de remblaiement autour de la nouvelle infrastructure construite (exemple typique de «downcycling»). Parallèlement, les travaux de terrassement du deuxième chantier, juste à côté du premier, ont donné lieu à l'évacuation de 40'000 m³ de matériaux terreux non pollués. Sur ce même site, la construction d'un nouveau bâtiment a occasionné la consommation de 15'000 m³ de graves naturelles pour la production de béton.

La Figure 3 résume la façon dont ont été gérés, de manière séparée, les deux chantiers adjacents.

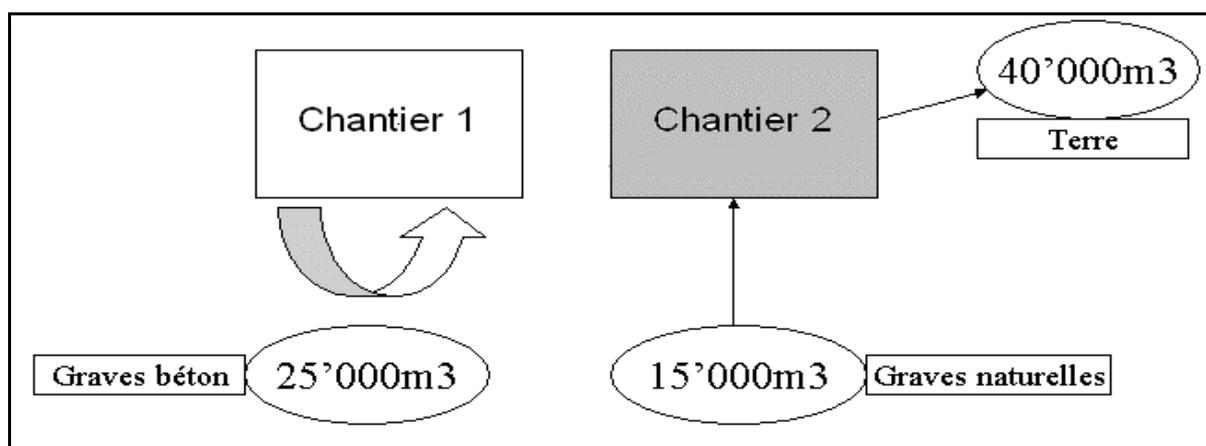


Figure 3: Schéma de gestion de deux chantiers voisins.
(Source : Ecodéchets, 2002)

A l'inverse, la Figure 4 propose une vision globale de la manière dont on aurait pu (ou dû) gérer ces deux chantiers avec concertation préalable et calendrier des travaux accordés. Bien que ce cas de figure soit théorique, et que l'état des connaissances et des possibilités techniques actuelles permet seulement l'utilisation d'une part de ces volumes de déchets, cette réflexion théorique doit servir de levier afin de rendre de telles valorisations possibles à l'avenir.

² En 2003, l'entreprise Ecodéchets Sàrl a changé de nom pour s'appeler Ecoservices SA.

En l'occurrence, les 25'000 m³ de graves de béton produits par la démolition des bâtiments sur le premier chantier permettraient d'approvisionner le deuxième chantier adjacent, et ainsi d'économiser 15'000 m³ de graves naturelles. Les 10'000 m³ d'excédents pourraient être utilisés sur d'autres chantiers pour la production de béton.

Plus de 50 % des matériaux provenant des travaux de terrassement du second chantier pourraient être utilisés pour le remblaiement des nouveaux bâtiments sur le premier. Seuls 15'000 m³ de matériaux terreux seraient alors évacués en décharge, ou utilisés pour d'autres travaux de terrassement, si possible à proximité.

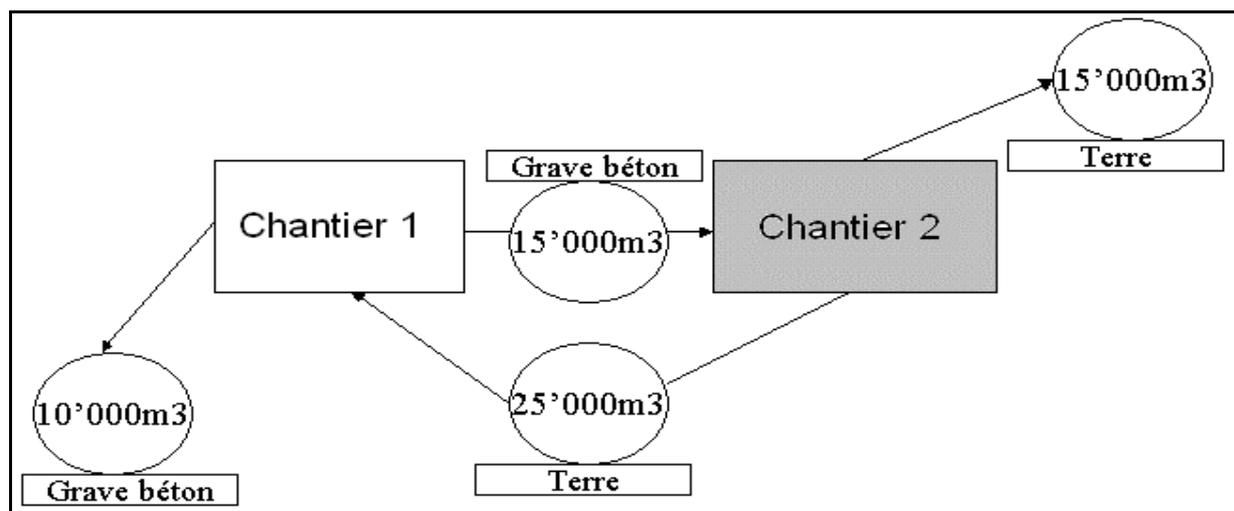


Figure 4: Schéma de gestion concertée des deux chantiers. (Source : Ecodéchets, 2002)

Une telle gestion concertée permettrait à la fois de limiter la mise en décharge de matériaux terreux et d'économiser des graves naturelles en produisant du béton recyclé. La diminution des transports constituerait un avantage supplémentaire. Il faut cependant relever que le facteur économique (mise en place d'une infrastructure) est prépondérant dans la plupart des projets à l'heure actuelle.

3.4 Ecobilan

Avant de se lancer dans une vaste opération de promotion du recyclage, il convient de s'assurer qu'un tel procédé ne porte pas plus préjudice à l'environnement que les autres alternatives. Effectuer un écobilan complet de l'utilisation des matériaux recyclés aurait dépassé les moyens du GEDEC. C'est pourquoi, il a été décidé de répondre à la question la plus controversée, à savoir la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication de béton recyclé qui, selon certains avis, serait très importante, en raison de la nécessité de broyer l'ancien béton et de l'utilisation plus importante de ciment qu'elle nécessite.

Cette section présente donc un bilan énergétique de trois scénarios plausibles de fabrication de béton, envisageables lorsque les ressources cantonales en graves naturelles auront été épuisées. En d'autres termes, il s'agit d'établir le bilan d'énergie nécessaire à la fabrication de 1 kg de béton, selon chaque scénario. Les trois scénarios examinés sont les suivants :

- Scénario 1 : Production de béton classique à partir de graves naturelles françaises, amenées en Suisse par camion de 40 tonnes. On suppose une distance minimale de 50 km. entre la gravière française et la centrale à béton suisse, ce qui correspond à la distance moyenne entre Genève et les centres d'extraction de grave situés dans la région frontalière.
- Scénario 2 : Production de béton classique à partir de graves naturelles françaises transportées en Suisse par train. On suppose une distance minimale de 100 km. entre la gravière française et la centrale à béton suisse, ce qui correspond à la distance entre Genève et la plaine de l'Ain, région française à fort potentiel de production et exportation de grave naturelle.
- Scénario 3 : Production de béton recyclé à partir de graves recyclées genevoises, transportées jusqu'en centrale à béton par camion de 28 tonnes. On suppose une distance maximale de 15 km. entre le centre de production de grave recyclée et la centrale à béton.

L'énergie primaire totale est calculée comme étant la somme des énergies de chaque étape de la production de 1 kg de béton. L'énergie de transport du béton depuis la centrale jusqu'au chantier, ainsi que l'énergie nécessaire à sa mise en œuvre sur le chantier, ne sont pas incluses car elles restent négligeables par rapport aux autres étapes.

$$E_{\text{béton}} = E_{\text{ciment}} + E_{\text{granulats}} + E_{\text{transports}} + E_{\text{eau}} + E_{\text{fabrication}}$$

Avec :

E_{ciment}	= énergie nécessaire à la production de ciment
$E_{\text{granulats}}$	= énergie nécessaire à l'extraction / production / recyclage de graves
$E_{\text{transport}}$	= énergie nécessaire au transport du ciment et des graves
E_{eau}	= énergie liée à la consommation d'eau
$E_{\text{fabrication}}$	= énergie nécessaire au malaxage du béton

Les résultats totaux pour les trois scénarios sont présentés dans le tableau et les figures suivantes.

Origine des graves	E tot (MJ)
Graves F camions	0.971
Graves F trains	1.078
Graves recyclées CH	0.906

Tableau 1: Consommation totale d'énergie primaire par kg de béton pour trois scénarios de production de béton. (Source : Ecoservices SA 2006)

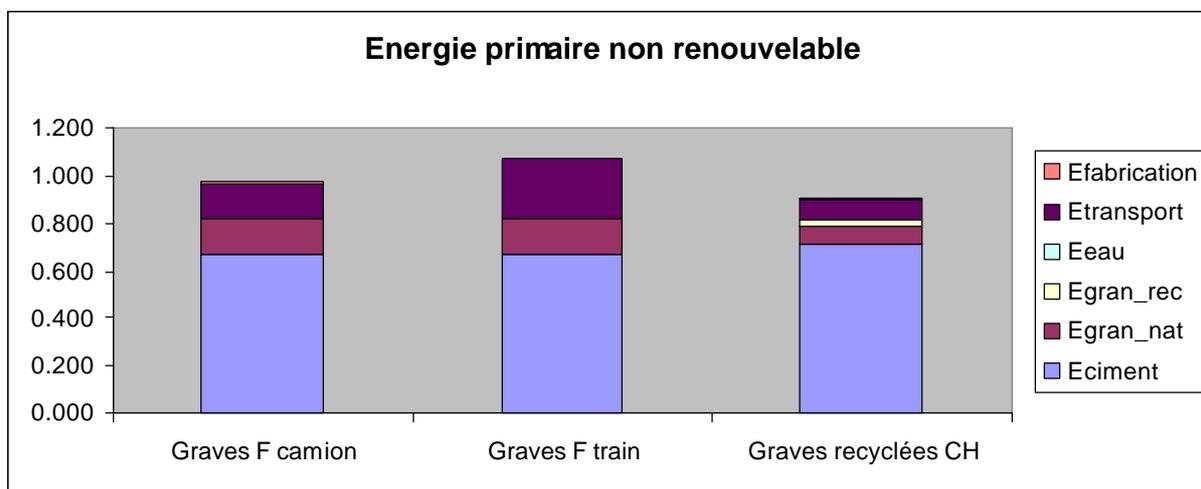


Figure 5 : Consommation totale d'énergie primaire non-renouvelable pour chacun des trois scénarios. (Source : Ecoservices SA 2006)

Sans surprise, on constate en premier lieu que la principale consommation énergétique concerne la production de ciment. On remarque ensuite que les différences entre les différents scénarios sont minimales. D'un point de vue énergétique, le béton recyclé est un peu meilleur que les deux scénarios français, notamment grâce à la diminution des transports résultant de l'économie de grave naturelle. Ces données sont basées sur des valeurs moyennes suisses pour la fabrication de grave naturelle et sur une exploitation genevoise de grave recyclée.

Comme on le voit, les différences sont trop faibles pour pouvoir clairement trancher en faveur de l'un des trois scénarios considérés. Pour juger globalement des bénéfices environnementaux du béton à base de graves recyclées, il faudrait mener une analyse de cycle de vie complète, afin d'étudier d'autres catégories d'impacts. A ce stade, ces résultats parlent cependant clairement en faveur de plus de recyclage des graves, étant donné l'économie de ressources en gravier et de place dans les décharges, la diminution de la dépendance du canton vis-à-vis de l'étranger et la réduction des autres nuisances résultant de ces transports massifs (bruit, poussière, etc.).

3.5 L'avis des professionnels

Parallèlement aux diverses études techniques lancées par le GEDEC, Ecodéchets Sàrl a mené des enquêtes auprès des professionnels de la construction, afin de recueillir leur sentiment à priori concernant la substitution de grave naturelle par de la grave recyclée pour la fabrication du béton. Les perceptions des producteurs de grave, des producteurs de béton et des ingénieurs sont résumées dans le Tableau 2.

Type de béton	Utilisation d'un béton recyclé		
	Producteurs de béton	Ingénieurs	Producteurs de granulats recyclés
Béton maigre, béton de radier, de remplissage ...	OK	OK	OK
Béton de construction armé (dalles, murs ...)	Si essais concluants	OK	OK
Béton spécial	Essais indispensables	Essais indispensables	Essais indispensables

Tableau 2 : Perceptions du béton recyclé par des professionnels de la construction à Genève. (Source : Ecodéchets 2002)

D'une manière générale, - et grâce entre autres aux actions de promotion organisées par le GEDEC - les professionnels consultés manifestent un à priori plutôt positif, notamment en ce qui concerne le béton maigre. Pourtant, même pour cette application, on constate que la grave recyclée demeure sous-utilisée. A cet égard, il ne fait pas de doute que l'utilisation systématique de béton à base de graves recyclées passera par une homogénéisation et une pérennisation de la qualité des granulats, afin d'accroître la confiance des constructeurs.

3.6 Objectifs à atteindre

L'objectif principal à atteindre est **d'utiliser de la grave naturelle uniquement là où elle est nécessaire**. À cet effet, il est primordial que toutes les parties impliquées s'inscrivent dans le cadre légal existant, notamment les directives fédérales (OFEV, 1997, 1999), pas ou peu respectées à ce jour dans le canton.

Il faut souligner le fait que la réutilisation des déchets de chantier et de démolition n'a que peu d'effets si elle ne se pratique pas selon certaines règles, telles que celles décrites dans les directives fédérales. Par exemple, on a trop souvent tendance à considérer la grave recyclée comme un tout homogène, alors que les directives fédérales distinguent différents types de graves recyclées, ayant chacune un usage bien défini. Il est du ressort de l'Etat de mettre en place un cadre permettant le respect de ces directives.

Les principaux éléments nécessaires à la réalisation de ces objectifs sont présentés dans les chapitres suivants.

4. Le cadre légal

Ce chapitre présente de manière synthétique les textes légaux qui s'appliquent aux matériaux de construction. Il s'agit ici uniquement de mentionner ces textes, sans en donner le contenu, qui sera décrit plus en détail plus loin dans le rapport, si nécessaire. Cette liste n'est pas exhaustive, mais énumère les principaux textes légaux auxquels ce rapport fait référence.

4.1 La réglementation

4.1.1 Réglementation suisse

- **Ordonnance fédérale sur le traitement des déchets (OTD):** établit le tri minimal des différents déchets de chantier, interdit le mélange des déchets, décrit les catégories de décharge et impose l'incinération dans des installations appropriées.
- **Ordonnance sur les mouvements de déchets (OMoD):** permet le contrôle des mouvements de déchets spéciaux et des exportations de déchets. Harmonise la classification des déchets avec la communauté européenne.
- **Directive de l'Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage pour la valorisation des déchets de chantier minéraux (OFEV, 1997) :** décrit les catégories de déchets et les matières premières recyclées obtenues. Le respect de cette directive est essentiel pour la mise en place d'un recyclage efficace des matériaux de construction.
- **Directive de l'OFEV pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (OFEV, 1999):** fixe des exigences de qualité pour décider si des matériaux peuvent être valorisés sans restriction, uniquement avec certaines restrictions, ou après un traitement préalable (dans le cas des sites pollués, notamment).

4.1.2 Réglementation genevoise

- **Loi genevoise sur la gestion des déchets (LGD) et règlement d'application de la loi (RGD) :** décrit les déchets de chantier de construction, de transformation et de démolition, ainsi que les matériaux d'excavation non pollués. Décrit également le système de tri et d'élimination dans une installation de traitement autorisée. Fixe une redevance de CHF 30.- au maximum, prélevée sur chaque tonne de déchets incinérée ou stockée en décharge contrôlée (DC).
- **Loi genevoise sur les gravières et exploitations assimilées et règlement d'application de la loi :** le programme d'exploitation comprend l'extraction des gravières, le remblayage et l'exploitation des décharges contrôlées pour matériaux inertes (DCMI), et le réaménagement des terrains.

4.2 Les normes

- La **Norme SIA 262** : établit les principes d'élaboration de projets de construction, décrit les propriétés et la composition du béton.
- La **Norme SIA 160.051**: décrit les paramètres spécifiques lors de la fabrication du béton
- La **Recommandation SIA 262/4** : fixe le cadre technique, à respecter pour la production et l'utilisation d'un béton de recyclage.
- La **Norme routière VSS 670 120b** : fixe les exigences de qualité des matériaux pierreux pour les couches de fondation routières.
- La **Norme routière VSS 640 431** : contient des recommandations et des prescriptions pour la conception, l'attestation d'aptitude, la détermination des valeurs nominales, la fabrication et la mise en œuvre de béton bitumineux pour les couches de support et de roulement, ainsi que des exigences concernant l'enrobé et les couches de mise en œuvre.
- La **Norme routière VSS 640 452C** : s'applique aux enrobés à chaud fabriqués en centrale à partir de granulats ou de déchets de construction minéraux ainsi que de liants bitumineux et utilisées pour des couches de fondation ou en tant que renforcement de superstructure.
- La **Norme routière VSS 640 420** : fixe les exigences de qualité des enrobés bitumineux, norme de base.
- La **Norme routière VSS 640 506a** : concerne la stabilisation des sols aux liants bitumineux.
- Les **Normes routières VSS 640 740 à 744** : sont des normes sur le recyclage des déchets minéraux.
- L'**Eco-devis 313** : fournit un inventaire des prestations écologiquement intéressantes relatives au béton.

5. Les matériaux

Ce chapitre présente le contexte technique et légal encadrant la réutilisation et le recyclage des matériaux de construction. Les matériaux traités en détail sont **le béton, les graves, les matériaux d'excavation et les bitumineux**. Chacune de ces matières fait l'objet d'une brève introduction générale, avant d'aborder la problématique de leur recyclage. Dans la mesure du possible, une description de la situation actuelle ainsi qu'une estimation des quantités de matières en jeu sont données.

5.1 Les flux de matériaux

On sait que les réserves genevoises de gravier, si l'on poursuit leur exploitation au rythme actuel, seront épuisées dans quelques décennies seulement. Par quels matériaux de substitution pourrait-on remplacer cette ressource non renouvelable ? En admettant que cette substitution soit mise en œuvre, de combien d'années la durée de vie des réserves s'en trouverait-elle prolongée ?

Pour pouvoir répondre à ces questions, il est nécessaire de connaître les données actuelles du problème : quels matériaux sont employés ? pour quels usages ? dans quelles quantités ?

Pour tenter de répondre à ces questions, M. Jean-François Houmard (Houmard, 2004) a eu recours à la méthodologie de l'analyse des flux de matières³. Concrètement, cette méthodologie permet de décrire schématiquement, sur un territoire donné, la circulation des flux de ressources. Dans le cas présent, il s'agit de comprendre où, et en quelles quantités, les matériaux de construction circulent et s'accumulent sur le territoire du canton de Genève. Surtout, on cherche à identifier les flux de ressources qu'il serait possible de détourner des décharges, afin de les réinjecter dans le système économique en conservant, autant que possible, leur valeur fonctionnelle (et, de ce fait, leur valeur économique).

Le Tableau 3 indique les matériaux ayant fait l'objet d'une analyse de flux de matières dans le domaine de la construction à Genève.

Matériaux	Description
Grave naturelle	Diamètre de 0.063mm à 120 mm, alluvionnaire ou concassée
Grave recyclée	Diamètre de 0.063mm à 120 mm, recalée à partir de déchets de chantiers (béton, briques, excavation de routes ou de fouilles etc.
Matériaux d'excavation	Terre excavée lors du terrassement pour la construction de bâtiment, de tunnel, de piscine, etc.
Déchets de chantier	Matériaux inertes qui peuvent soit être recyclés, soit mis en décharge
Matériaux de construction autres que graves	Brique, béton préfabriqué, pierre, céramique, etc.

Tableau 3 : Matériaux étudiés dans l'analyse des flux de ressources pour la construction à Genève.
(Source : Houmard 2004)

³ La méthodologie de l'analyse des flux de matière (en abrégé MFA, de l'anglais Material Flow Analysis) est également nommée «analyse du métabolisme des activités économiques» ou «analyse du métabolisme industriel».

La méthodologie de l'analyse des flux de matière découle directement du principe de conservation de la masse (principe de Lavoisier) : tout flux de ressources qui entre dans un système (une région, une entreprise, un ménage, etc.) en ressort tôt ou tard, ou s'y accumule sous forme de stock. Cette méthodologie revient à établir une «comptabilité physique», décrivant le substrat matériel et énergétique de toute activité économique. En pratique, l'étude du métabolisme consiste essentiellement à établir des bilans de masse, en estimant ou en mesurant les flux et les stocks de matière et d'énergie.

Dans la terminologie de cette méthodologie, les activités économiques sont considérées comme des «processus». Dans le cadre de cette étude, le domaine de la construction a été subdivisé, par convention, en quatre processus :

- parafouilles, aménagements extérieurs et remblais;
- béton (dans les bâtiments, les routes, etc.);
- routes, trottoirs, places, etc.;
- fouilles et canalisations (remblais autour des conduites SIG, des canalisations d'eaux usées, etc.).

Par commodité, les flux de ressources peuvent être représentés de manière graphique, comme dans la Figure 6. Les processus sont représentés par des boîtes, et les flux par des flèches.

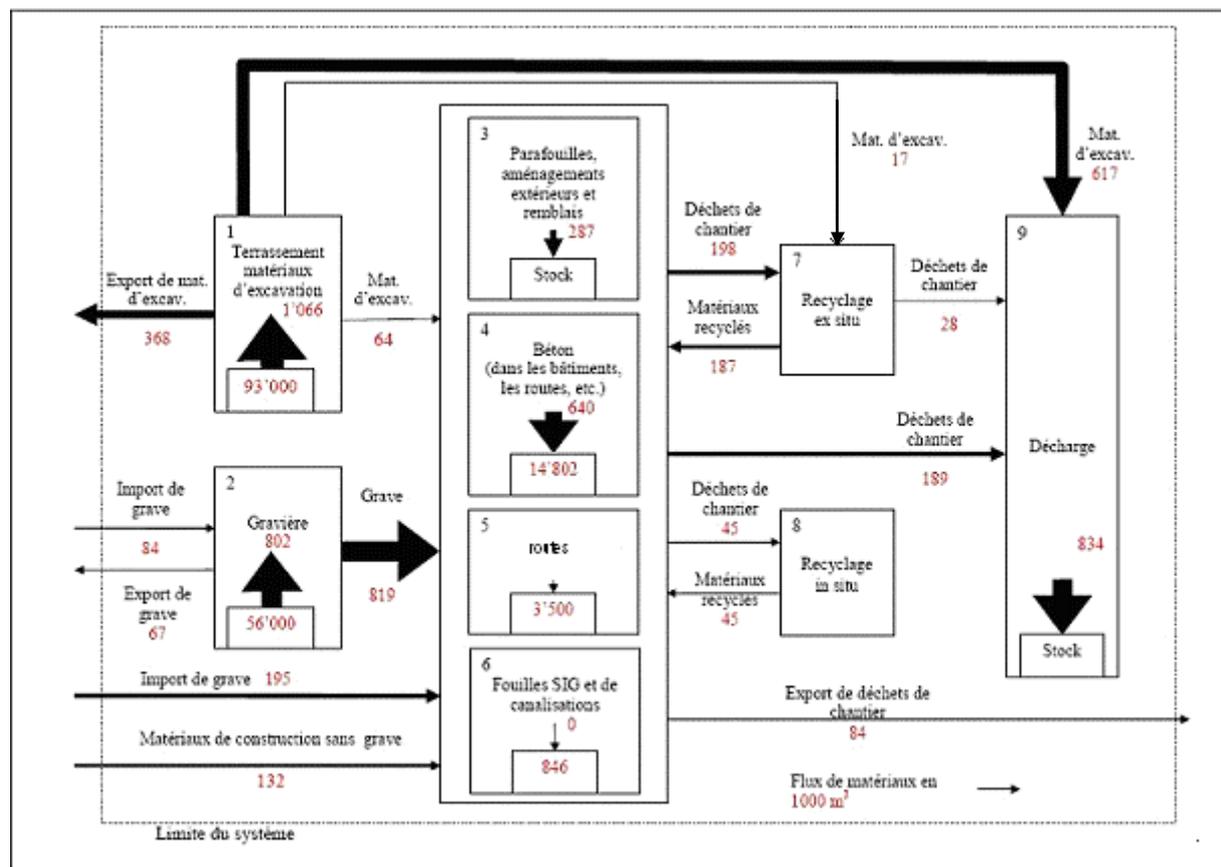


Figure 6 : Diagramme de flux des matériaux de construction à Genève [unité :milliers de m³].
(Source : Houmard 2004)

Ce diagramme, qui permet de visualiser les flux de matériaux de construction à Genève, fait bien ressortir l'importance prépondérante (sur le plan quantitatif) de trois flux :

- Le flux de graves, provenant des gravières, qui s'élève à 819'000 m³ par an.
- Le flux de matériaux d'excavation, environ 617'000 m³, provenant du terrassement et allant directement en décharge.
- Le flux de matériaux d'excavation, exportés en dehors du canton : 368'000 m³.

A eux seuls, ces trois flux représentent pratiquement 60 % de la totalité des 3,1 millions de m³ de matériaux de construction qui circulent dans le système économique genevois en une année.

L'ensemble des matériaux d'excavation exportés, réutilisés ou mis en décharge représentent environ un million de m³. A priori, il s'agit d'un volume important, aujourd'hui considéré comme du déchet. Par conséquent, c'est dans ce flux de matériaux d'excavation que réside le plus grand potentiel de réutilisation (voir le Chapitre 6).

Comme le montre le diagramme de la Figure 6, en 2003, Genève a importé 279'000 m³ de grave naturelle provenant de France, soit un peu plus d'un quart de la totalité de la grave naturelle utilisée dans le canton (soit 195'000 m³ directement sur les chantiers et 84'000 m³ via les gravières genevoises). Les gravières genevoises ont également exporté en dehors du canton 67'000 m³ de grave naturelle. Cette exportation peut surprendre, mais s'explique par le fait que, de part et d'autre de la frontière, certains diamètres de sable et gravier manquent. Pour simplifier, certaines gravières de France voisine ont un déficit en gravier, alors que certaines gravières genevoises n'ont pas assez de sable. S'il n'y a pas de matériaux d'excavation ou de matériaux recyclables à emmener, certaines entreprises françaises en profitent pour transporter la fraction qui leur manque, plutôt que de rentrer à vide après une livraison à Genève.

En ce qui concerne les processus 5 (coffrage des routes) et 6 (fouilles SIG et de canalisations), l'augmentation du stock est nulle car il n'a été admis en première approximation que l'entretien du réseau routier, respectivement du système de conduite et de canalisation. Cela ne signifie nullement qu'il n'y a aucune activité de construction dans ces deux domaines, bien au contraire.

La majeure partie de la grave naturelle est utilisée pour la fabrication de béton. Toujours sur le diagramme de la Figure 6, on voit que le flux de matériaux de construction sans grave (briques, céramique, etc.) s'élève à 132'000 m³, soit environ 9 % du total. Quant aux matériaux d'excavation réutilisés dans les processus de construction (64'000 tonnes), ils ne représentent environ que 4 % de l'ensemble des matériaux utilisés, et servent uniquement au remblayage des parafouilles et des remblais. La quantité totale de matériaux recyclés équivaut à 232'000 m³ (187'000 m³ recyclage ex situ, et 45'000 recyclage in situ), soit environ 16 % de la consommation totale de matériaux de construction à Genève⁴. A terme, ce taux de recyclage devrait s'élever de manière significative, si l'on entend assurer la pérennité des ressources utilisées par le secteur de la construction à Genève.

L'étude des flux de matériaux de construction à Genève, synthétisée dans le diagramme de la Figure 6, offre une vue d'ensemble des circulations et des stocks de ces matériaux, ainsi qu'une indication des quantités en jeu. Les sections suivantes de ce chapitre abordent la problématique spécifique à chaque matériau.

⁴ Les matériaux d'excavation qui sont lavés (17'000 m³, soit 7 % du total des matériaux recyclés) sont comptabilisés ici avec les matériaux recyclés.

5.2 Les bétons

5.2.1 Généralités

Il n'existe pas un béton mais des bétons. En effet, selon l'usage auquel il est destiné, les propriétés et la qualité du béton seront différentes. Ainsi, les **bétons non classés** désignent les bétons n'ayant pas de propriétés particulières, tels que les bétons maigres de fondation et les radiers ainsi que les bétons utilisés dans le cadre de fouilles. Les **bétons classés** répondent eux à certaines exigences, et se trouvent par exemple dans la construction armée, les dalles ou les murs porteurs. Finalement, les **bétons spéciaux** doivent présenter des propriétés particulières, et sont utilisés dans les ouvrages nobles du génie civil.

Les paragraphes suivants sont destinés à dresser une rapide description générale du béton et de ses principaux constituants, afin de mieux souligner les enjeux associés à ce matériau.

Béton = granulats + ciment + eau + additifs

Granulats : constituant principal en poids et en volume du béton (80 % en poids, 75 % en volume), les granulats sont régis par la norme SIA 262. Il est généralement admis que la taille maximale de granulats pour la composition du béton est de 32 mm, sauf dérogations. La dénomination des granulats s'effectue selon leur taille, comme le montre le Tableau 4.

Dimension	Dénomination
> 4 mm	Gravier
0.25 à 4 mm	Sable
0.125 à 0.250 mm	Sable fin
< 0.125 mm	Fines (dont ciment)

Tableau 4 : Dénomination des granulats en fonction de leur taille. (Source : Ecodéchets 2002)

Les caractéristiques finales du béton peuvent varier selon les types de granulats utilisés : en fonction de leur forme, de leur taille, de leur résistance à la compression et de leur masse volumique.

Désignation	Pourcentage (en poids)
Gravier 16 à 32 mm	22 %
Gravier 8 à 16 mm	22 %
Gravier 4 à 8 mm	17 %
Sable 0.125 à 4 mm	39 %
Fines 0 à 0.125 mm	10 %

Tableau 5 : Exemple de répartition granulométrique dans un béton standard. (Source : Ecodéchets 2002)

A ce mélange type, il convient d'ajouter au moins 300 kilogrammes de ciment pour obtenir 1 m³ de béton classé.

Ciment : les caractéristiques de ce matériau sont régies par la norme SIA 215 sur les liants minéraux.

Le ciment est le liant indispensable à la constitution du béton, de par son hydraulicité (durcissement au contact de l'eau). Le ciment est principalement constitué de clinker (mélange de quatre constituants minéraux : chaux + silice + alumine + oxyde de fer) et d'ajouts comme les résidus de certaines industries (laitiers de hauts fourneaux, cendres volantes de centrales thermiques). Le ciment fait partie des fines, sa granulométrie est donc inférieure à 0.125 mm. Pour chaque type de béton, la quantité de ciment incorporée dans le mélange dépend de l'utilisation prévue. En général, la quantité de ciment est de 300 kg/m³. Toutefois, on peut descendre à 100 kg/m³ pour du béton maigre, ou lorsque l'élément en béton se trouve à l'abri des intempéries et de toute action nuisible.

Eau : l'eau de gâchage doit provenir du réseau d'eau potable. Il est envisageable d'utiliser d'autres qualités d'eau, mais des analyses préalables doivent être effectuées pour s'assurer des teneurs en chlorures et en sulfates, susceptibles d'altérer la durée de vie du béton.

Additifs : différents types d'additifs (superplastifiants, entraîneurs d'air, réducteurs d'eau, retardateurs de prise) sont incorporés au mélange eau + granulats + ciment. Ils contribuent à optimiser les qualités et les caractéristiques du béton, telles que la maniabilité, le temps de prise, la résistance, la teneur en eau et en air.

La norme SIA 262 classe les différents types de béton (applications). Une nouvelle norme concernant la fabrication de béton, basée sur les normes européennes, est entrée en vigueur en juillet 2004. Elle a été appliquée sur le canton dès juillet 2005. Il s'agit de la norme SIA 162.051.

Les bétons qu'elle décrit sont de deux types qui reflètent principalement les responsabilités des intervenants: les bétons à composition prescrite (responsabilité principale du prescripteur) et les bétons à propriétés spécifiées (responsabilité principale du producteur). Les bétons sont désignés en classe de résistance, de consistance, de granulométrie et d'exposition.

Deux valeurs de résistance minimale entrent en compte dans la désignation du béton: soit: une valeur minimale sur cylindre et une valeur minimale sur cube.

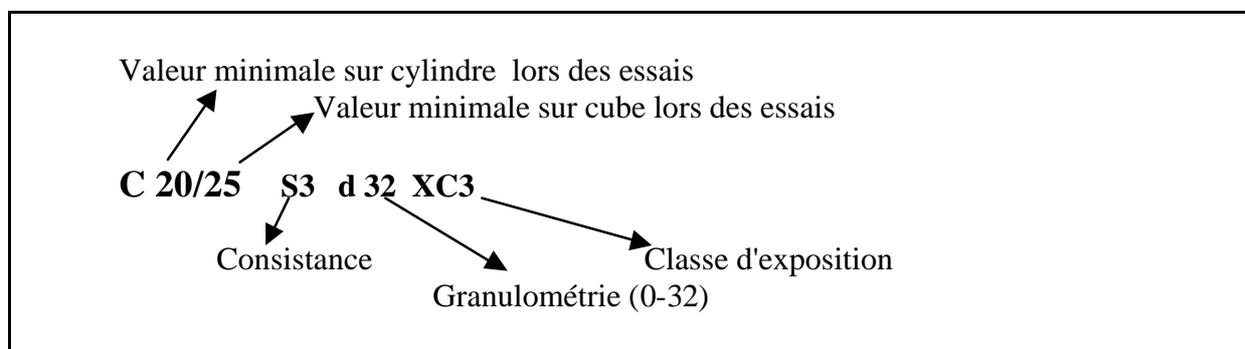


Figure 7 : Classification d'un béton selon la norme SIA 162.051.

5.2.2 Le béton recyclé

La recommandation SIA 162/4 établit un cadre technique général à respecter pour l'obtention d'un béton de recyclage. Cette recommandation, dont la plupart des points renvoient à la norme générale SIA 262, soulève une question importante : la qualité requise des granulats.

En effet, ces granulats, issus de matériaux de démolition ou de matériaux routiers non-bitumineux, doivent répondre à des exigences précises en terme de propreté afin de ne pas porter atteinte à la qualité du produit final.

	Béton de recyclage classé	Béton de recyclage non-classé
Bois, matières synthétiques, plâtre	1 % du volume ou 0.3 % de la masse	2 % du volume ou 0.5 % de la masse
Granulats non triés	3 % de la masse	Fixé selon utilisation prévue du béton
Granulats bitumineux	Néant	7 % de la masse
Sulfates	1 % de la masse	1 % de la masse

Tableau 6 : Exigences de propreté pour les granulats recyclés. (Source : Recommandation SIA 262/4 sur le béton de recyclage)

De plus, la teneur totale en chlorure des granulats doit être suivie de manière précise et ne pas dépasser les taux suivants :

- Béton non-armé : 0,12 % de la masse des granulats.
- Béton armé : 0,03 % de la masse des granulats.

La recommandation SIA 162/4 énonce également quelques principes d'utilisation, notamment :

- Il convient d'accorder une attention particulière à la qualité de l'enrobage des armatures d'un béton de recyclage, du fait d'une moindre étanchéité d'un tel béton.
- On préconise l'utilisation de béton recyclé pour les applications suivantes : lit de béton, béton de remplissage, d'enrobage ou de couverture.

S'il remplit les exigences, le béton de recyclage classé présente la composition suivante :

- granulats de béton 0-32mm 10 à 100 %
- sable/gravier 0-32mm 90 à 0 %
- CEM I 42,5 env. 330 kg/m³
- avec adjonction de super fluidifiants afin de faciliter la mise en œuvre.

Ce matériau peut être utilisé en tant que béton armé ou non armé de résistance C 20/25 ou C25/30 sans propriété particulière, et pour les parties de construction durablement à l'abri des intempéries. Une entreprise de la place offre aujourd'hui ces matériaux dans sa liste de prix, ainsi qu'un béton maigre également produit à base de grave valorisée.

5.3 Les graves

5.3.1 Généralités

Comme pour le béton, il existe différents types de graves. L'objectif de cette section est de définir les divers types de graves et d'offrir un panorama de leurs usages variés.

Les graves forment le principal constituant en poids et en volume du béton. La fabrication de béton consomme donc beaucoup de graves : près de la moitié des graves utilisées par le secteur de la construction en Suisse servent à la production du béton. L'autre moitié trouve des applications dans une multitude d'usages différents, qui seront exposés plus loin.

Le terme de «grave» désigne un matériau rocheux tamisé et, si besoin est, concassé, ayant un diamètre allant de 0.063 mm à 120 mm. Les graves peuvent être **naturelles** ou **anthropiques** (c'est-à-dire provenant d'activités humaines, p. ex. grave recyclée).

Toutes les graves, qu'elles soient naturelles ou anthropiques, sont caractérisées par leur fuseau granulométrique qui détermine les usages que l'on peut en faire. Ainsi, on distingue :

- la grave à béton : granulométrie continue allant de 0 à 32 mm, contenant moins de 10 % de fines.
- la grave I : granulométrie continue allant de 0 à 63 mm, contenant moins de 2 % de particules fines de diamètre inférieur à 0.02 mm et par conséquent non gélive (insensible au gel) (Figure 8).

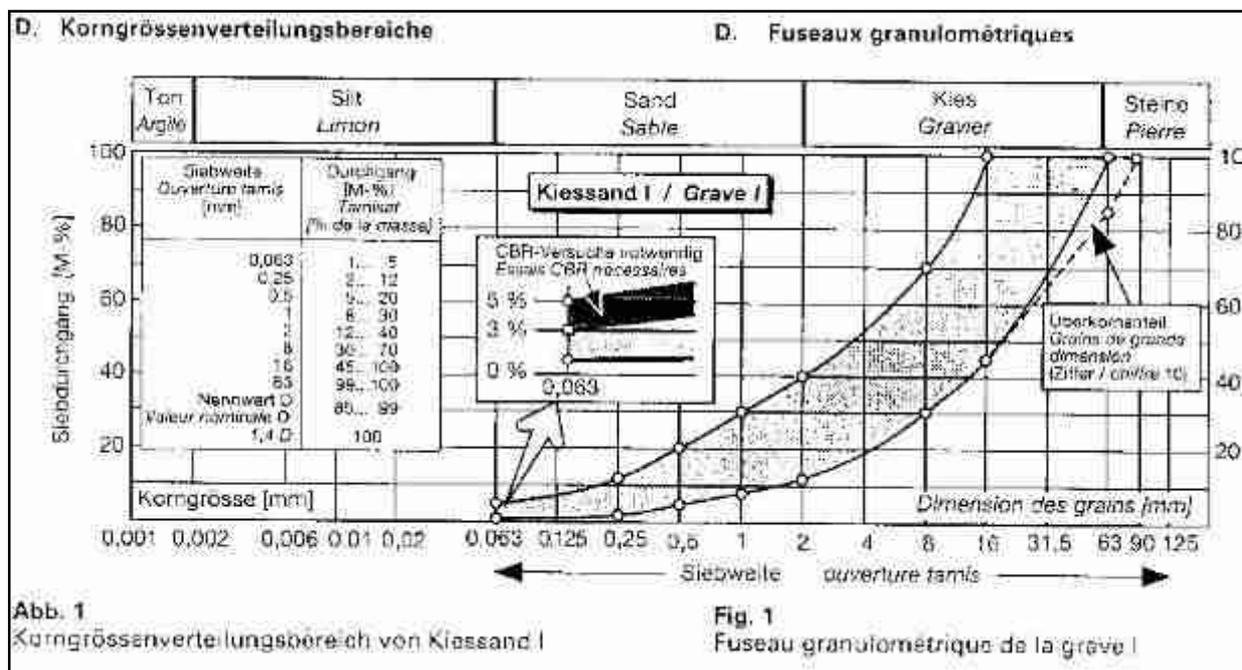


Figure 8: Fuseau granulométrique d'une grave I. (Source: Norme SN 670 120b)

- la grave II : granulométrie continue allant de 0 à 63 mm, contenant jusqu'à 10 % de particules fines et pouvant donc être gélive (Figure 9).

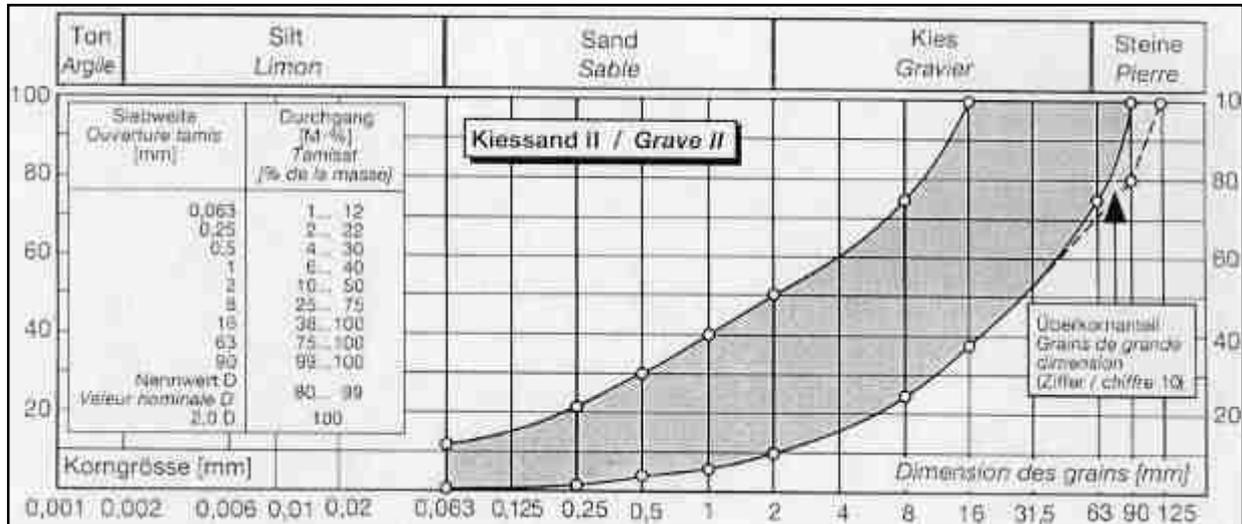


Figure 9 : fuseau granulométrique d'une grave II. (Source: Norme SN 670 120b)

Cette liste n'est pas exhaustive, et il existe d'autres granulométries de graves pour des usages particuliers. Ces granulométries sont une condition obligatoire pour les différentes applications possibles dans le cadre du génie civil et de la construction, et s'appliquent à toutes les graves.

5.3.2 La grave naturelle

La grave naturelle peut être alluvionnaire ou provenir d'un substrat rocheux. Les constructeurs ont une nette préférence pour la grave alluvionnaire, car sa forme ronde nécessite moins d'eau et de ciment pour la fabrication du béton et sa mise en place est plus aisée. En revanche, la grave concassée provenant d'un socle rocheux est jugée de moins bonne qualité. Dans le canton de Genève, on exploite principalement la grave alluvionnaire.

Suite à la dernière grande glaciation⁵, les dépôts glaciaires ont formé la **moraine** genevoise. Cette moraine se compose de deux formations :

- les «cailloutis supra-glaciaires de retrait» qui représentent la partie superficielle des dépôts glaciaires,
- les «cailloutis morainiques profonds» qui ont été déposés au début de la dernière grande période glaciaire, principalement dans les vallées anciennes creusées à la fin de l'époque tertiaire dans le socle molassique.
- La réserve disponible de graves naturelles dans le canton de Genève se trouve dans ces deux formations géologiques qui apparaissent clairement dans la Figure 10, page suivante. Celle-ci offre un aperçu des matériaux typiquement rencontrés dans le sous-sol genevois.

⁵ Période du Würm, de 80'000 à 10'000 av J.C.

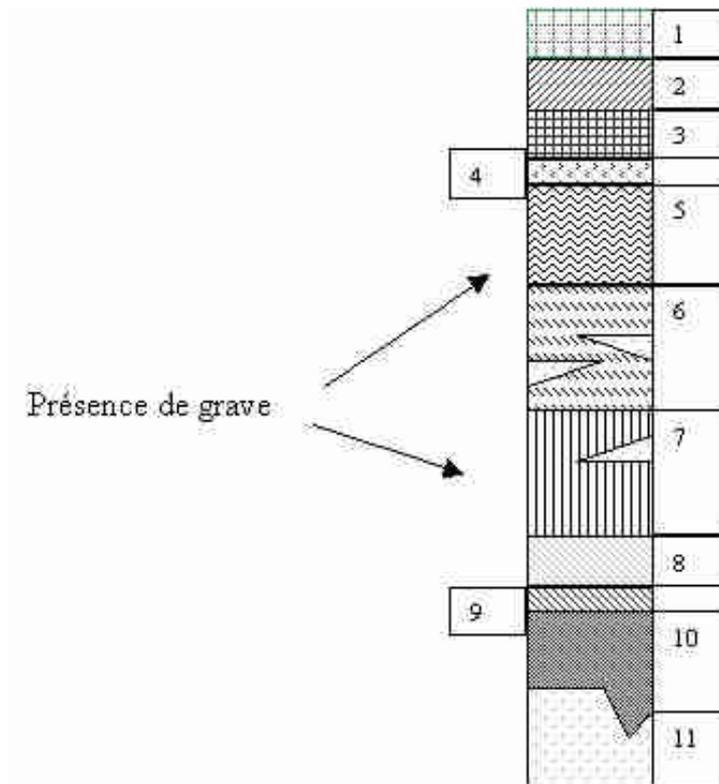


Figure 10 : Profil-type du sous-sol genevois. (Source : Ecoservices, 2005)

Ce profil-type comprend les couches suivantes:

- terrains récents composés d'une couverture végétale et de remblais (1);
- terrains holocènes⁶ composés de dépôts de ruissellement (2), d'alluvions de terrasses (3) et de dépôts ou de vases lacustres (tourbe, craie) (4);
- terrains datant de la période de glaciation du Würm (de 80'000 à 10'000 an av J.C.), composés de cailloutis supra-glaciaire de retrait (5), de moraine à cailloux et de blocs alpins (6), et de cailloutis morainiques profonds (7);
- terrains attribués à la période interglaciaire Riss-Würm (8);
- terrains datant de la période de glaciation du Riss (de 300'000 à 120'000 ans av J.C.) composés de cailloutis de retrait (9) et de moraine à cailloux et bloc alpin (10);
- substrat rocheux molassique, qui constitue la roche-mère du sous-sol genevois (11).

De manière générale, ces couches comportent, dans des proportions variables, des phases sableuses, limoneuses, argileuses et graveleuses.

En conclusion, du fait de la composition du sous-sol genevois, les seuls terrains aptes à une exploitation directe de **grave naturelle**, via un simple tri, sont les cailloutis de retrait (5) et les cailloutis morainiques profonds (7).

⁶ Période s'étendant sur les 10'000 dernières années.

Les Figures 11 et 12 montrent l'emplacement de ces deux formations géologiques sur le territoire cantonal.

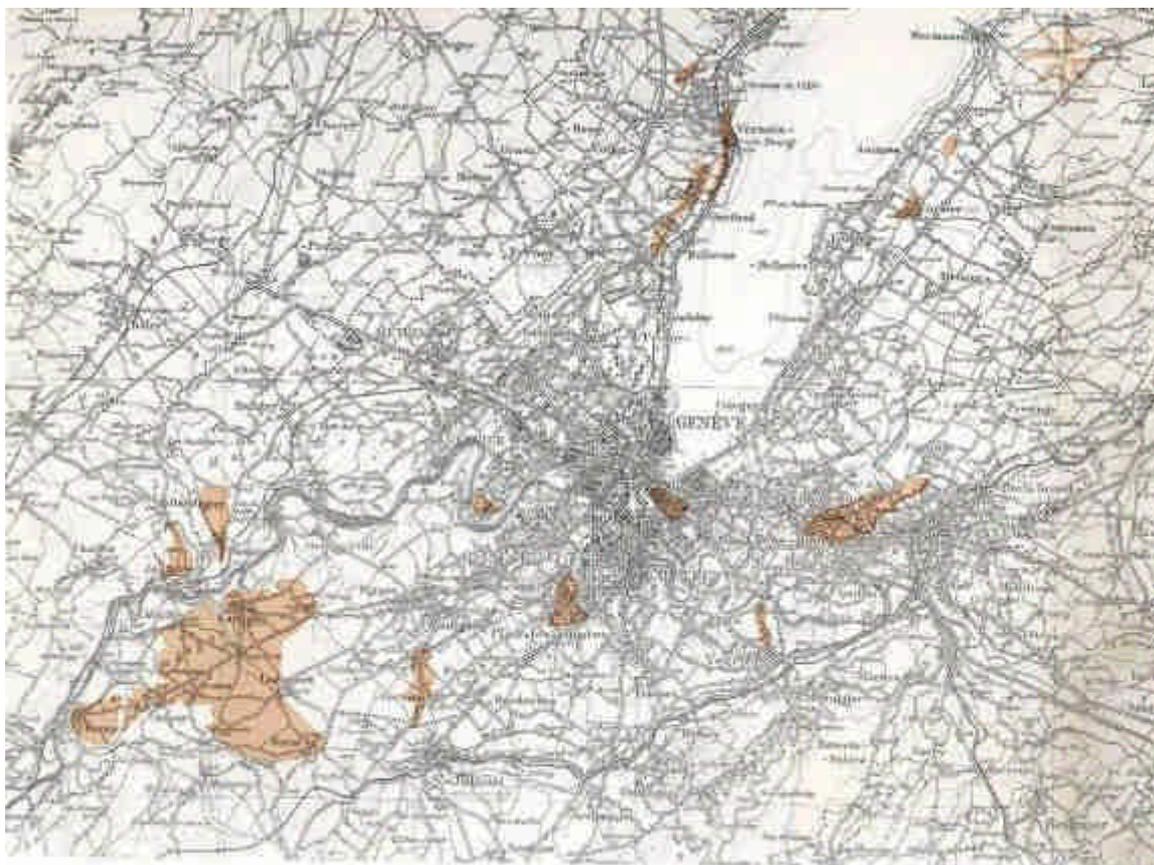


Figure 11 : Emplacements des cailloutis supra-glaciaires de retrait. (Source : Service cantonal de géologie, 1984)



Figure 12 : Emplacement des cailloutis morainiques profonds. (Source : Service cantonal de géologie, 1984)

Il est également possible, dans une certaine mesure, de se procurer des graves à partir d'**argiles**, de **limons**, de **sables** et de **graviers** provenant d'autres formations géologiques. Tous ces matériaux contiennent des graves, que l'on peut extraire par traitement (lavage, tri) pour obtenir une grave alluvionnaire recomposée. Ces matériaux peuvent également être réutilisés pour d'autres applications.

Selon le Plan directeur des gravières (1999), la réserve de graves naturelles exploitables à Genève s'élèverait à 56 millions de m³. Dans son étude, Jean-françois Houmard (Houmard, 2004) examine plusieurs hypothèses, et parvient à la conclusion que cette réserve se situe dans une fourchette entre 14 et 56 millions de m³.

5.3.3 La grave anthropique

La grave anthropique provient de la démolition de bâtiments ou du lavage de matériaux d'excavations. Par définition, une grave recyclée est d'origine anthropique.

Les différents types de graves recyclées sont définies dans la directive de l'OFEV pour la valorisation des déchets de chantier minéraux (OFEV, 1997). Cette directive fédérale fixe le cadre légal pour la valorisation des déchets de chantier minéraux en matières premières recyclées de qualité.

Elle désigne quatre catégories de **déchets de chantier minéraux**, selon leur provenance :

- matériaux bitumineux de démolition des routes,
- matériaux non-bitumineux de démolition des routes,
- béton de démolition,
- matériaux de démolition minéraux non triés.

La traitement de ces quatre catégories de déchets minéraux permet d'obtenir six sortes de **matières premières recyclées** : les granulats bitumineux, la grave de recyclage P, la grave de recyclage A, la grave de recyclage B, les granulats de béton et les granulats non triés.

La directive de l'OFEV de 1997 donne également une description précise de ces catégories, comme on peut le voir dans le tableau 7:

Matière recyclée	Type de granulats/graves
Matériaux bitumineux de démolition des routes : produits issus du fraisage ou de la démolition d'un revêtement bitumineux.	Granulat bitumineux
Matériaux non bitumineux de démolition des routes : produits issus de la collecte, du défonçage ou du fraisage de couches de fondation non liées et de couches de support et de fondation stabilisées aux liants hydrauliques.	Grave de recyclage P (P rimaire) Grave de recyclage A (A sphalte) Grave de recyclage B (B éton)
Béton de démolition : produit issu de la démolition ou du fraisage d'ouvrages ou de revêtements en béton armé ou non armé.	Granulat de béton
Matériaux de démolition minéraux non triés : produits issus d'éléments de maçonnerie en béton, en briques de terre cuite, en briques silico-calcaires et en pierre naturelle.	Granulat non trié (la fraction fine, granulométrie < 8-12 mm, des matériaux minéraux non triés doit être séparée par tamisage avant le concassage et éliminée conformément à l'OTD).

Tableau 7 : Provenance des matériaux recyclés. (Source : OFEV, 1997)

Le tableau 8 précise les pourcentages maximaux admis pour chaque catégorie de déchets de chantier participant à la composition des différents granulats ou graves. La colonne 2, grave, combine les graves naturelles extraites ou les graves lavées lors d'excavation ou traitement de terrains pollués.

Matériaux de récupération	Catégories des déchets de chantier				
	Matériaux bitumineux	Grave	Béton de démolition	Matériaux minéraux non triés	Corps étrangers
Granulat bitumineux	• 80	• 20	• 2		• 0.3*
Grave de recyclage P	• 4	• 95	• 4	• 1	• 0.3
Grave de recyclage A	• 20	• 80	• 4	• 1	• 0.3
Grave de recyclage B	• 4	• 80	• 20	• 1	• 0.3
Granulat de béton	• 3**	• 95		• 2	• 0.3
Granulat non trié	• 3	• 97			• 0.3 sans plâtre • 1 % plâtre • 1 % verre

Tableau 8 : Composition massique des six groupes de matières premières recyclées. (Source : OFEV, 1997 et modification du 29 septembre 2005)

	Constituants principaux : pourcentages massiques minimaux
	Constituants secondaires : pourcentages massiques maximaux
	Corps étrangers : Pourcentage total maximal (bois, papier, plastique, plâtre ...)
	* Si mise en œuvre à chaud : 0 %
	** Si utilisation pour béton normalisé : 0 %

Finalement, la directive de l'OFEV de 1997 spécifie les applications autorisées pour chaque catégorie de ces matières premières recyclées (Tableau 9). A noter que les matériaux bitumineux constituent un cas à part et qu'ils font l'objet de la dernière section de ce chapitre.

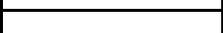
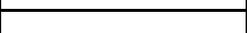
	Mise en œuvre sous forme non liée		Mise en œuvre sous forme liée	
	Sans revêtement	Avec revêtement	Liants hydrauliques	Liants bitumineux
Granulat bitumineux	*	**		
Grave de recyclage P				
Grave de recyclage A				
Grave de recyclage B				
Granulat de béton				
Granulat non trié				

Tableau 9 : Applications autorisées des matières premières recyclées. (Source : OFEV 1997)

	Utilisation admise
	** Utilisation avec restriction (uniquement sous un revêtement bitumineux)
	Utilisation interdite
	* Utilisation possible si couche inférieure à 7 cm d'épaisseur et si le granulat bitumineux est laminé

Enfin, en novembre 2001, une recommandation de l'OFEV est venue compléter la directive de 1997. Cette recommandation traite d'une cinquième catégorie de déchet de chantier minéral : les **débris de tuiles**.

Le granulat obtenu est un produit monomatériau qui doit répondre aux exigences suivantes :

- débris de tuiles au minimum 98 %
- sables et graviers au maximum 1 %
- béton de démolition 0 %
- matériaux bitumineux de démolition de routes 0 %
- matériaux de démolition non triés au maximum 1 %
- substances étrangères au maximum 0,3 %

En cas de non-respect de ces exigences, le granulat obtenu ne pourra être utilisé que selon les prescriptions applicables aux granulats de démolition non triés.

Les granulats de tuiles certifiés peuvent être utilisés sous forme libre ou liée, sans couche de revêtement, sous réserve des restrictions liées à la protection des eaux. Leur utilisation est notamment recommandée pour la construction de places de sport.

5.4 Les matériaux d'excavation

5.4.1 Généralités

L'analyse de la situation actuelle à Genève a montré que les matériaux d'excavation représentent le flux de matériaux inertes le plus important en masse dans le canton (Houmard, 2004). Actuellement, ces matériaux sont utilisés en grande majorité pour remblayer les gravières du canton.

Les matériaux d'excavation contiennent une certaine proportion de graves. Par conséquent, leur utilisation plus performante aurait une grande influence sur la préservation des réserves naturelles en grave du canton (Houmard, 2004). Il y a deux moyens de valoriser les matériaux d'excavation :

- En tant que source de grave alluvionnaire, par le lavage de la terre excavée et l'extraction des fractions de sable et de gravier ;
- En tant que matériaux de remblayage, sans traitement préalable.

Dans le premier cas, la quantité de gravier et de sable doit être élevée, et la proportion d'argile faible (particules plus petites que 0,063 mm). En effet, pour extraire la fraction graveleuse, il faut procéder à un criblage par lavage de la terre. Théoriquement, pour l'extraction de la grave, le pourcentage d'argile contenue dans la terre n'est pas limité. Toutefois, en pratique, les entreprises qui lavent, ou qui voudraient commencer le lavage des matériaux d'excavation à Genève, estiment que la limite idéale est de 5 % d'argile. Ces professionnels s'accordent à penser que si la teneur en argile dépasse 8 %, l'opération n'est plus rentable économiquement, car les quantités d'eau et d'énergie (pompage) nécessaires pour le lavage, ainsi que le stockage des boues argileuses qui doivent être séchées et mises en décharge, deviennent alors problématiques.

Dans le deuxième cas, pour un usage en tant que matériau de remblayage, la proportion d'argile peut être plus grande, car les exigences granulométriques sont moins élevées. Elles dépendent des critères de portance et de gélimité nécessaire pour l'utilisation que l'on veut en faire (Houmard, 2004).

Le principal problème pour une réutilisation systématique des matériaux d'excavation provient de la difficulté à estimer leur granulométrie.

5.4.2 *Potentiel de recyclage des matériaux d'excavation*

La quantité de matériaux d'excavation pouvant faire l'objet d'un recyclage a été estimée grâce à un système d'information géographique (SIG). A cette fin, deux outils ont été superposés : d'une part, les couches du SIG du Plan directeur cantonal de l'aménagement du territoire, qui définit les zones de densification et de construction pour les prochaines années, et d'autre part les couches du Système d'information du territoire genevois (SITG), qui comprend notamment le répertoire des sondages effectués dans le canton.

Les descriptions de profil des sondages attribuent à chaque couche du sol une subdivision granulométrique. On obtient ainsi une moyenne des pourcentages d'argile, limon, sable et gravier de chaque sol.⁷

Le pourcentage d'argile a été choisi comme critère d'évaluation, sachant que le pourcentage de limon (problématique du gel) est également un facteur déterminant pour la fabrication de béton ou à ne pas négliger dans les autres applications (sous couches routières, remblais, fouilles etc...).

Quatre catégories ont été établies :

1. de 0 à 5 % d'argile : matériel approprié pour le lavage et le remblayage.
2. de 5 à 8 % d'argile : matériel encore lavable, et approprié pour le remblayage.
3. de 8 à 15 % d'argile : matériel non-approprié pour le lavage; utilisable pour du remblayage sans exigence trop élevée de portance en fonction de sa teneur en sable et gravier.
4. > 15 % d'argile : matériel à utiliser pour le remblayage des gravières.

Ensuite, les surfaces constructibles ou de densification ont été mesurées, et une moyenne de la quantité d'argile se trouvant sous ces différentes zones a été établie. Pour calculer un volume de matériaux à partir de surfaces de terrains constructibles, plusieurs hypothèses sont possibles. L'hypothèse retenue ici consiste à estimer qu'un certain pourcentage (estimé entre 50 % et 100 %) des matériaux excavés chaque année proviendra forcément des zones définies par le Plan directeur cantonal de l'aménagement du territoire pour les futures constructions.

Sur la Figure 13 sont représentés les pourcentages d'argile estimés pour chaque grande zone de construction (pour les détails des zones, légendes et résultats des sondages, voir Houmard, 2004). On constate que seul la région de Plan-les-Ouates a un pourcentage d'argile très élevé, de 24 %.

⁷ Pour une description détaillée de la méthode employée, voir le travail de diplôme de M. Jean-François Houmard (Houmard, 2004).

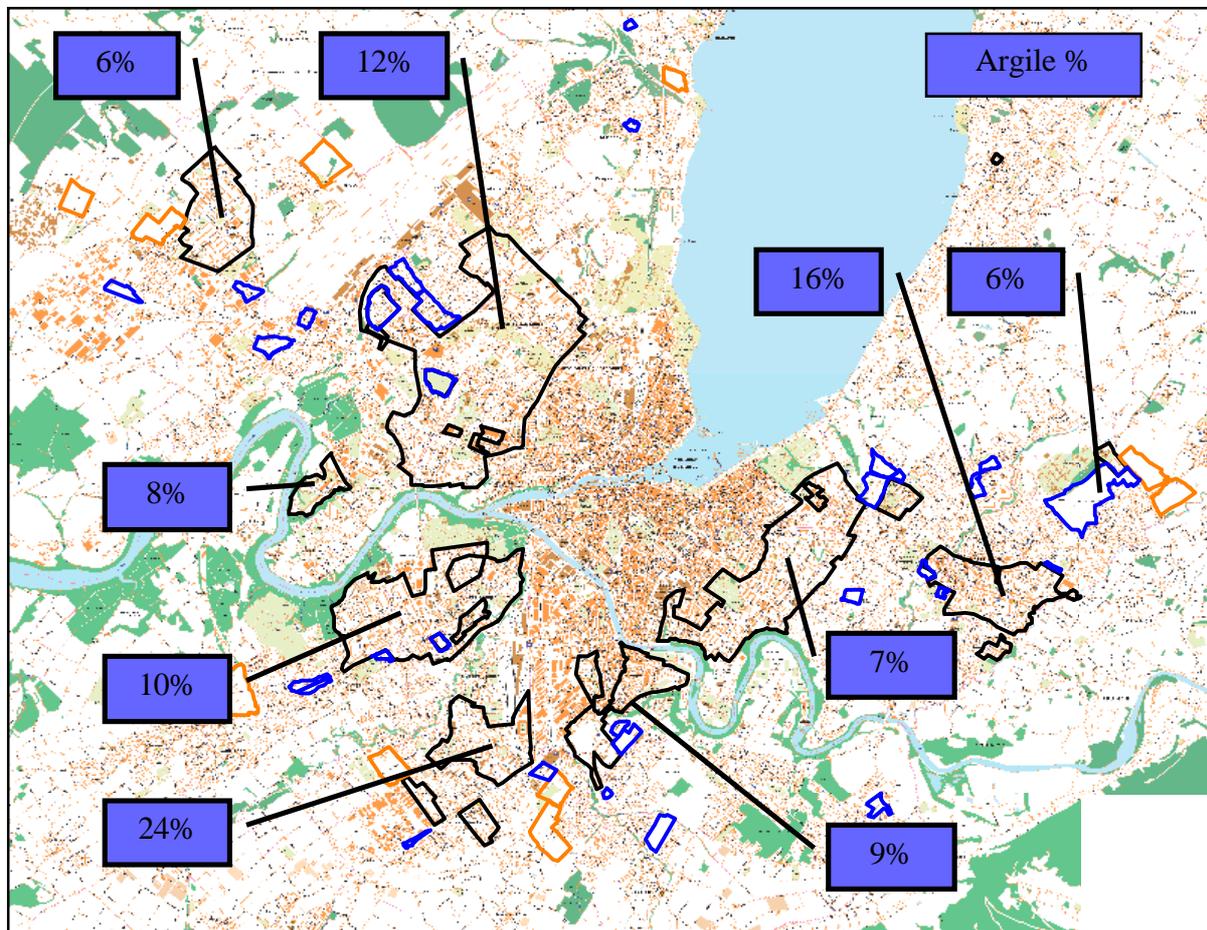


Figure 13 : Pourcentage d'argile pour les différentes zones de construction. (Source : Houmard, 2004)

Le Tableau 10 indique quel pourcentage de la zone constructible serait potentiellement lavable ou utilisable pour du remblayage autre que celui de gravière. Le pourcentage de matériaux appropriés pour le lavage est estimé à seulement 1 % de l'ensemble des zones constructibles du canton. Sur 31 % de cette surface, un lavage des matériaux d'excavation serait envisageable. Ces mêmes matériaux d'excavation pourraient aussi être utilisés tels quels pour le remblayage de parafouilles, de remblais ou de fouilles de canalisations.

Il apparaît que 56 % des zones constructibles recouvrent des matériaux contenant un pourcentage d'argile compris entre 8 et 15 %. Ces matériaux sont donc potentiellement utilisable pour du remblayage de fouilles ou de parafouilles. Le critère déterminant pour leur réutilisation est la fraction de sable et de gravier contenue, de sorte que la fraction réutilisable est très certainement en deçà. Seuls 12 % de la surface semblent n'être utilisables que pour le remblayage des gravières. Il y a donc un gros potentiel au niveau du recyclage de ces matériaux et de leur réintroduction dans le circuit de la construction.

Argile %	Zone constructible %
0-5	1
5-8	31
8-15	56
>15	12

Tableau 10 : Fractions de la zone constructible totale en fonction de la teneur en argile des matériaux d'excavation. (Source : Houmard, 2004)

Toutefois, un recyclage accru des matériaux d'excavation poserait un certain nombre de problèmes, notamment :

- les matériaux d'excavation étant considérés sur le plan légal comme des déchets, il faudrait systématiquement vérifier leur état de pollution avant de les laver ou de les réutiliser. Le cadastre des sites pollués, récemment établi à Genève, pourrait faciliter ces vérifications.
- le lavage nécessite une importante place de stockage pour entreposer les matériaux d'excavation non encore lavés, puis les boues avant et après le séchage (soit mécanique soit naturel, à l'air libre) et enfin pour les mettre en décharge. Une fois séchées, ces boues posent un nouveau problème, car elles sont imperméables. De plus, si l'on veut réutiliser le terrain par la suite, il faut installer des drainages ou des couches filtrantes. Le problème réside alors dans le coût élevé de ces opérations.
- le stockage des matériaux d'excavation, en vue de leur réutilisation comme matériau de remblayage de parafoilles ou autres, nécessite une place de stockage couverte, ce qui engendre un coût important (en effet, si ces matériaux sont humides, leur mise en œuvre devient difficile, d'où la nécessité d'un entreposage au sec). Une gestion coordonnée entre les chantiers permettrait une réutilisation immédiate et ainsi d'éviter le stockage des matériaux. Cela économiserait également le coût du transport (Houmard, 2004).

Compte tenu des différents points évoqués ci-dessus, on peut conclure que la valorisation des matériaux d'excavation (en particulier, l'utilisation des graves qu'ils contiennent) ne présente pas de problèmes techniques et économiques insurmontables. Ces matériaux présentent donc un potentiel de recyclage intéressant sur le territoire du canton de Genève.

5.5 Les bitumineux

5.5.1 Généralités

Afin de dissiper d'éventuelles ambiguïtés concernant les termes utilisés par les différents acteurs de la filière des bitumineux, il semble opportun de commencer cette section par un bref rappel terminologique.

Bitume : Matériau visqueux, noir ou brun foncé, résultant de la distillation du pétrole à faible température (350 - 400°C). Il est utilisé comme liant dans les produits routiers.

Goudron : Le goudron brut résulte de la pyrolyse de la houille à haute température (400 – 1200 °C). Une fois distillé, il donne naissance à un matériau visqueux qui contient généralement des polluants, nocifs pour la santé humaine. Le mélange bitume-goudron a été utilisé pendant des décennies dans la construction routière sous forme d'imprégnations et d'enduits superficiels. Aujourd'hui, il n'est plus mis en œuvre (problématique des HAP)

Matériaux bitumineux : Matière provenant du fraisage à froid, couche par couche, d'un revêtement bitumineux. On désigne également de cette manière les morceaux de revêtement résultant du défonçage des routes.

Granulat bitumineux : Reclaim asphalt product (RAP). Matériau obtenu par concassage de matériaux bitumineux à une taille inférieure à 32 mm. Recyclage in situ ou ex situ.

Enrobé ou béton bitumineux : Revêtement constitué de granulats unis par un liant hydrocarboné.

Asphalte coulé : Mélange de bitume, de granulats et de poudre minérale plus particulièrement utilisé pour les ponts dans un but d'étanchéité.

Asphalte concret (AC) : Dénomination des bétons bitumineux en fonction des couches d'utilisation (fondation, base, liaison, roulement...).

Liant : Produit qui sert à enrober des granulats pour faire un revêtement routier. On distingue des liants hydrocarbonés (goudron, bitume) pour les infrastructures routières et hydrauliques (ciment) pour les bétons de ciment (rarement utilisés). Aujourd'hui, plus de 90 % des liants utilisés dans la construction routière sont hydrocarbonés.

Revêtement bitumineux : Couche imperméable ou drainante liée, en enrobé bitumineux.

Emulsion de bitume : Mélange de bitume, d'eau et d'émulsifiant; possibilité de pose à froid (normé).

En Suisse, comme dans les pays voisins, les revêtements bitumineux constituent le principal type de revêtement utilisé dans la construction routière. Plus du 90 % des chaussées suisses sont recouvertes par du revêtement bitumineux.

Les liants hydrocarbonés sont des matériaux constitués essentiellement d'assemblages d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ces atomes, au contact de particules solides telles que les granulats, développent des forces d'adhésion. Il en résulte une certaine rigidité, ainsi que des résistances aux déformations en traction, compression et cisaillement. Il existe trois grandes familles de liants hydrocarbonés: les asphaltes et bitumes naturels, les goudrons, et le bitume de pétrole.

Ces liants présentent des caractéristiques très différentes. Nous pouvons les classer en trois groupes distincts:

Liants de base : Aujourd'hui, les bitumes constituent les liants de base. Ils peuvent être utilisés tels quels, à des consistances variées. Le goudron, utilisé en technique routière jusqu'à la fin des années 80, résultait de la distillation du goudron brut, issu de la pyrolyse de la houille. Contenant des HAP, il n'est plus utilisé, mais pose le problème de la gestion des déchets lors de la réfection d'anciens revêtements.

Liants composés polymères ou élastomères : Les mélanges de bitume donnent naissance à une multitude de liants dérivés.

Liants composés fluidifiés : Bitume fluidifié obtenu par l'addition de fluxants, de fluidifiants, d'agents chimiques ou d'émulsifiants qui entraînent une baisse de la viscosité du mélange permettant son utilisation à une température plus faible.

5.5.2 Problématique environnementale

Le problème environnemental posé par le recyclage des matériaux bitumineux découle essentiellement de l'utilisation, pendant des décennies, de goudron de houille, mélangé à du bitume dans la fabrication de revêtements routiers. L'application routière de ce produit nécessite son réchauffement in situ afin de pouvoir atteindre la viscosité nécessaire à sa mise en œuvre. Ce réchauffement (technique d'application à chaud) provoque le dégagement d'une fumée nauséabonde, chargée en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et nocive pour la santé. Les ouvriers peuvent être exposés à ces substances toxiques par inhalation ou par passage percutané.

Aujourd'hui, lors de travaux de rénovation et d'assainissement de routes anciennes, ces matériaux refont surface, et posent un sérieux problème de traitement en raison de leur teneur en substances toxiques.

Parmi les nombreuses substances composant le goudron, les HAP présentent le potentiel polluant le plus élevé. Ils sont constitués d'au moins deux cycles aromatiques fusionnés. On en dénombre une centaine, mais la liste des substances analysées par différentes études environnementales est plus restreinte (une vingtaine).

L'intérêt récent pour la surveillance des HAP dans les goudrons s'explique par leur toxicité potentielle. En effet, des expériences menées ces dernières années sur l'animal et sur l'être humain ont démontré le potentiel cancérigène de certains HAP, notamment le benzo(a)pyrène. Cela dit, il faut rappeler que les HAP ne sont pas l'apanage des enrobés liés au goudron. Ils peuvent aussi se former lors de nombreux processus de combustion (fumée du tabac, chauffages, gaz d'échappement des automobiles...).

Risques pour l'homme

Les effets toxiques des HAP sur l'homme sont connus depuis longtemps. Dès la fin du XVIII^{ème} siècle, le milieu médical commence à s'intéresser de près à une étrange maladie touchant les ramoneurs: le cancer de la peau. Ces recherches médicales ont permis de mettre en évidence le pouvoir cancérigène des produits de pyrolyse tels que le goudron et la suie. Aujourd'hui, les risques cancérigènes liés à la respiration de fumées chargées en HAP, notamment lors de la mise en œuvre du goudron, sont connus et doivent être limités.

D'autres effets, non cancérigènes, ont été observés chez les personnes au contact avec ce genre de produits. Parmi les plus courants, on peut citer les irritations des yeux, du nez, de la gorge, une augmentation de l'état de fatigue, des nausées ou encore des troubles du sommeil.

Risques pour l'environnement

La pollution aux HAP par la manipulation d'enrobés à base de goudron est liée au devenir de ces substances dans l'environnement. Libérés de leur matrice solide, les HAP peuvent:

- se volatiliser et se transformer en hydrocarbures dérivés dans l'air;
- être dégradés par la matrice plante-sol;
- s'adsorber sur des particules de matière organique;
- se solubiliser dans l'eau.

De par leur faible porosité, les enrobés retiennent les HAP et empêchent leur diffusion dans l'environnement. Lorsque ces mêmes enrobés se fissurent ou sont concassés, les risques de pollution augmentent. Par exemple, le fraisage des matériaux bitumineux produit un dégagement de poussière nocif pour la santé des travailleurs et pour l'environnement, même à faible teneur en HAP. Après le fraisage (ou concassage), les granulats sont généralement entreposés dans des aires de stockage plus ou moins étanches pour une période indéterminée. La percolation de l'eau à travers l'enrobé concassé forme un lixiviat chargé en HAP, dangereux pour l'environnement.

Le recyclage des bitumineux

Les risques de pollution sont aussi présents durant les différentes étapes du recyclage. Lorsque des enrobés sont réintroduits dans le processus de fabrication de matériaux bitumineux, le risque de pollution est essentiellement présent lors de la phase de réchauffement des matériaux à recycler. L'augmentation de la température entraîne le dégagement de fumées chargées en HAP. Un système de filtres permet de retenir ces polluants mais en cas de fortes teneurs, les filtres se saturent et les HAP sont libérés dans l'environnement.

Pour ces raisons, les possibilités de recyclage des matériaux bitumineux sont déterminées par leur teneur en HAP et se trouvent soumises aux règles édictées dans le Tableau 11.

Possibilité de recyclage	Teneur en HAP du liant	Désignation du matériau
Recyclage illimité (mise en DCMI)	0 – 5'000 ppm	Exempt de goudron
Recyclage sous forme liée à chaud en centrale d'enrobage. Après recyclage, la teneur finale du liant ne doit pas dépasser 5'000 ppm. (mise en DCB).	5'000 – 20'000 ppm	Faible teneur en goudron
Stockage définitif en DCB avec suivi de la teneur en HAP et en phénols des lixiviats	> 20'000 ppm	Forte teneur en goudron

Tableau 11 : Possibilité de recyclage des granulats selon la directive de l'OFEV. (Source OFEV, 1999)

Différentes normes routières décrivent en détail les différentes étapes de la chaîne de recyclage des matériaux bitumineux qui présentent des teneurs en goudron acceptables. La Norme SN 640 740 normalise la réutilisation des matériaux de démolition dans les superstructures de chaussée. Elle définit les matériaux bitumineux de démolition comme étant aussi bien le produit du fraisage à froid, couche par couche, d'une route, que les morceaux de revêtements résultant de la démolition routière. Le concassage de ces morceaux permet d'obtenir un matériau de récupération appelé «granulat bitumineux». Il faut spécifier que la "dilution" des matériaux contenant des HAP n'est pas autorisée. Le Tableau 12 présente les domaines d'utilisation possibles et le Tableau 13 certains principes à respecter concernant la protection des eaux.

Catégorie de matériaux de démolition	Catégories de matériaux bitumineux de démolition	
Provenance	Couches de surface	Revêtements en béton bitumineux et graves bitumes AC
Extraction	Fraisage par couches	Défonçage / fraisage
Traitement	-	Concassage si nécessaire
Matériaux de récupération	Granulat bitumineux	
Domaines d'utilisation		
Couches de surface en béton bitumineux	1	
Revêtement en béton de ciment		
Couche de support AC B, AC T	1	
Couches de fondation AC F	1	
Stabilisation aux liants bitumineux	2	
Stabilisation aux liants hydrauliques	3	
Couches non-liées	2-3	
Béton		

Tableau 12 : Prescriptions relatives à l'évacuation et à la réutilisation de matériaux bitumineux de démolition selon la norme SN 640 740. (Source : Ecoservices, 2004a)

- 1 domaine d'application souhaitable
- 2 domaine d'application possible
- 3 domaine d'application déconseillé
- impossible

Grave avec granulat bitumineux (+10 %)		
Matériaux de récupération	Granulat bitumineux	Grave de recyclage A (20 % max granulat bitumineux)
Bétons bitumineux et graves bitumes HMF	Aucune limitation imposée par la protection des eaux	
Revêtements en béton de ciment	Techniquement inapproprié	Techniquement inapproprié
Couches stabilisées aux liants bitumineux	Zones de protection des eaux A, B, C Enduit superficiel ou couche de surface	Aucune limitation imposée par la protection des eaux
Couches stabilisées aux liants hydrauliques	Pas souhaitable pour des raisons environnementales	Pas souhaitable pour des raisons environnementales
Couches de fondation non liées	Zones de protection des eaux B,C Enduit superficiel ou couche de surface	Zones de protection des eaux A, B, C Enduit superficiel ou couche de surface

Tableau 13 : Composition des matériaux de récupération et limitation imposées par la protection des eaux selon la norme SN 640 740 (Source : Ecoservices, 2004a)

La norme SN 640 741 rassemble les directives pour l'extraction et le concassage des matériaux de démolition, notamment aussi les matériaux bitumineux, ainsi que pour la réintroduction des granulats dans le processus de fabrication d'enrobé de recyclage ou pour leur utilisation comme grave de fondation.

En fonction du type d'utilisation envisagée, la norme donne une appréciation de la compatibilité des matériaux recyclés avec l'environnement. (Tableau 14) :

Matériaux bitumineux de démolition	A base de bitume			A faible teneur en goudron			A forte teneur en goudron		
	Stock. Interm.	Traite-ment	Couche en place	Stock. Interm.	Traite-ment	Couche en place	Stock. Interm.	Traite-ment	Couche en place
Fabrication à chaud d'enrobé bitumineux	Compatible avec l'environnement			W	L	U	A rejeter pour des raisons d'hygiène au travail et/ou environnement		
Fabrication à froid - liant bitumineux - liant hydraulique	Compatible avec l'environnement			W	U	U	WW	L	W
Utilisation en couches non liées	Compatible avec l'environnement			W	U	WW	A rejeter pour des raisons de protection de l'eau et du sol		

Tableau 14 : Appréciation de la compatibilité des matériaux bitumineux recyclés avec l'environnement selon la norme SN 640 741. (Source : Ecoservices, 2004a)

- U = compatible avec l'environnement
- L = légère pollution de l'air possible
- W = légère pollution des eaux et du sol possible
- WW = importante pollution des eaux et du sol possible

En plus des exigences environnementales, les granulats recyclés doivent encore répondre aux critères de qualité de la norme SN 640 431 sur la conception, les exigences et l'exécution des revêtements en béton bitumineux. Ces recommandations s'appliquent à tout type d'enrobé bitumineux, qu'il soit fabriqué à partir de granulats bitumineux recyclés ou non.

Finalement, la norme SN 640 452C s'applique aux enrobés à chaud fabriqués en centrale à partir de granulats ou de déchets de construction minéraux, ainsi que de liants bitumineux et utilisées pour des couches de fondation ou en tant que renforcement de superstructure.

Elle énumère les exigences relatives à la composition, à la fabrication et à la mise en œuvre des enrobés à chaud pour couches de fondation AC F. Elle définit aussi la procédure pour l'attestation d'aptitude et indique les essais à exécuter lors des contrôles.

L'application de ces normes a pour objectif un recyclage des matériaux économique et respectueux de l'environnement. Les revêtements, ainsi que les couches de support ou de fondation construits à base de matériaux recyclés, doivent s'y conformer.

6. Vers une réutilisation des matériaux inertes

6.1 Les débouchés possibles

Ce chapitre présente les principaux ouvrages où sont employés des matériaux d'excavation, des graves naturelles et des matériaux inertes recyclés. Les ouvrages abordés, avec leurs caractéristiques et leurs exigences techniques, sont les suivants :

- les routes, les trottoirs et les pistes cyclables;
- le comblement des fouilles (SIG, Swisscom, Cablecom, etc.);
- les travaux de parafoilles et de remblais sans exigences particulières;
- le comblement de gravières;
- la composition de bétons de différentes qualités;
- la stabilisation des sols.

6.1.1 Routes, trottoirs et pistes cyclables

Les infrastructures routières se définissent comme le résultat des travaux de terrassement nécessaires à la constitution de l'assise de la superstructure, laquelle est constituée d'une couche de fondation et d'un revêtement (habituellement bitumineux) (Figure 14).



Figure 14 : Nomenclature pour la structure d'une chaussée. (Source : Ecoservices, 2005)

L'infrastructure, c'est-à-dire la surface de terrain préparée pour recevoir les couches de superstructure, doit répondre aux exigences suivantes :

- supporter les charges du trafic transmises par la superstructure sans déformation excessive;
- permettre le passage des véhicules de chantier durant la phase de construction;
- assurer l'écoulement des eaux d'infiltration vers les dispositifs de récolte adéquats;
- éviter la remontée, sous l'effet du compactage, de particules fines du sol constituant l'infrastructure;
- éviter la montée capillaire de l'eau provenant de la nappe phréatique dans la superstructure.

Pour répondre à ces exigences, la Norme SN 640 317b spécifie le dimensionnement des terrains et des infrastructures routières. Elle énumère les caractéristiques et les méthodes de mesure à appliquer pour contrôler les risques liés au gel/dégel et à la régularité de la portance.

Les deux couches de la superstructure (fondation et revêtement) doivent répondre aux contraintes suivantes :

- résister aux efforts transmis par les roues des véhicules;
- assurer un roulement confortable des véhicules et une adhérence élevée;
- garantir un écoulement rapide des eaux superficielles et limiter leur infiltration dans l'infrastructure;
- neutraliser les effets du gel/dégel.

Pour répondre à ces contraintes, la norme SN 640 324a sur le dimensionnement de la superstructure des routes dicte, selon la classe de trafic pondéral et la classe de portance du sol, les épaisseurs des couches constituant la superstructure.

Pour sa part, la norme SN 670 120d formule les exigences de qualité concernant les graves pour couches de fondation. Cette norme s'applique à trois types de graves normalisées: grave I, grave II, et grave PSS dans le domaine ferroviaire ⁸. La norme SN 670 120d s'applique également à d'autres graves hors normes, lorsqu'elles présentent des caractéristiques suffisantes pour être utilisées en couche de fondation permettant :

- la répartition des charges,
- la réduction des sollicitations des couches inférieures résultant de la charge de trafic aux valeurs admissibles,
- la résistance au gel/dégel.

Pour garantir le respect de ces trois contraintes, plusieurs mesures sont effectuées telles que le calcul du coefficient de portance CBR (California Bearing Ratio), ou la mesure du pourcentage de fines (part < 0.063 mm), facteur primordial pour connaître la résistance au gel/dégel de la grave.

6.1.2 Comblement des fouilles (SIG, Swisscom, Cablecom, etc.)

Les Figures 15 et 16, ci-dessous et page suivante, représentent le profil type d'une tranchée pour des conduites SIG (eau potable, gaz et électricité), ainsi que les caractéristiques d'une tranchée pour des conduites d'eaux claires et d'eaux usées.

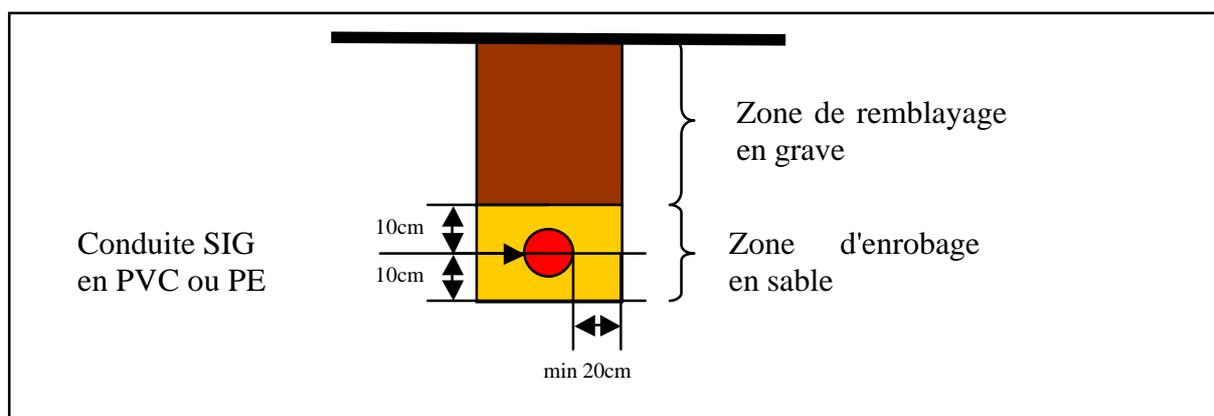


Figure 15 : Profil pour conduite d'eau potable, de gaz ou d'électricité. (Source : Ecoservices, 2005)

⁸ Pour les chemins de fer, la couche de protection de la forme est constituée de grave PSS lorsqu'une seule couche tient lieu de couche d'étanchéité et de couche de fondation.

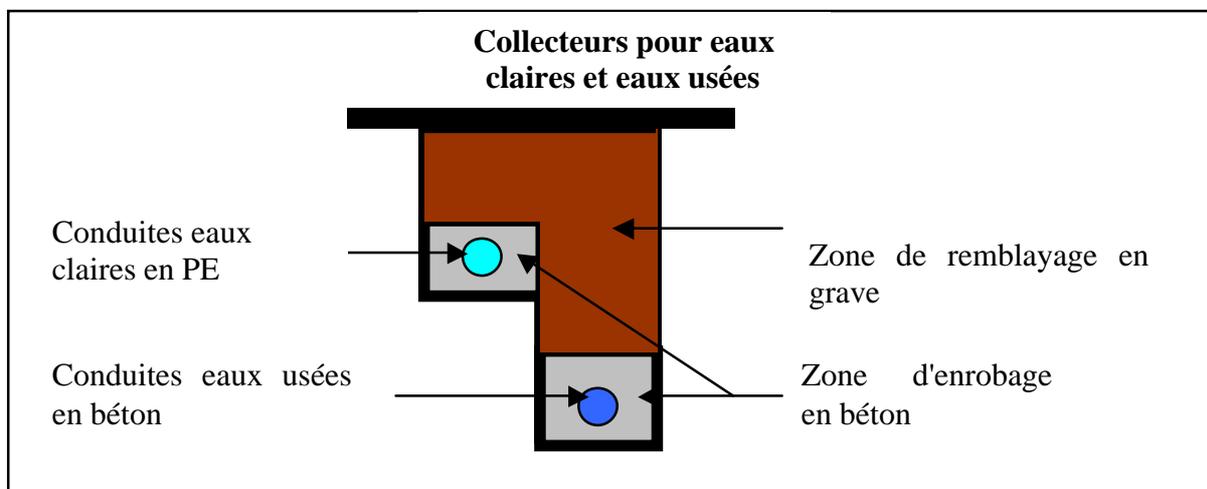


Figure 16 : Profil pour collecteur d'eaux claires / usées. (Source : Ecoservices, 2005)

Selon la société suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE), le sable est utilisé pour combler la zone d'enrobage, et la grave alluvionnaire sert à remplir la zone de remblayage. La SSIGE admet l'utilisation de matériaux de substitution, pour autant qu'ils répondent aux principes suivants :

- le matériau de substitution ne doit pas nuire à la durabilité des conduites situées dans sa zone d'influence;
- le matériau de substitution ne doit pas entraîner de risques supplémentaires pour la santé des personnes qui le manipulent;
- le matériau de substitution doit satisfaire aux exigences relatives à une étude de l'impact sur l'environnement;
- il doit en particulier être mélangé au sol naturel et ne pas occasionner des mesures spéciales d'élimination en cas de travaux de fouilles.

6.1.3 Comblement des parafouilles et remblais sans exigences particulières

Les exigences liées aux travaux de déblais et de remblais sont dictées par la norme SNV 640 576.

Le mandataire, en accord avec le maître d'ouvrage, choisit les matériaux utilisés pour les activités de remblayage, telles que les parafouilles ou les nivellements de sol. Les matériaux provenant de terrains contenant des matières organiques (bois, tourbe, etc.) ne doivent pas être utilisés. Il en va de même pour des matériaux gelés. L'entrepreneur n'exécutera pas de remblais sur de la neige ou sur un sol gelé. Enfin, le matériau dont la teneur en eau ne permet pas le compactage conformément à la norme SNV 640 585, doit être amélioré par des mesures spéciales (séchage, stabilisation, addition d'eau).

Toutefois, selon la nature chimique du matériau qu'on utilise pour combler les parafouilles, le béton peut s'en trouver détérioré. Pour palier ce problème, les entrepreneurs protègent leur bâtiment, dans la plupart des cas, avec un isolant du type «DELTA-MS» (Figure 17).



Figure 17 : Couche de protection de type DELTA-MS. (Source : Ecoservices, 2005)

6.1.4 Comblement de gravières

Après extraction complète du gravier, l'exploitant, s'il dispose d'une autorisation délivrée par le canton, peut donner une nouvelle fonction à sa gravière : celle de décharge pour matériaux terreux, ou celle de décharge contrôlée.

De manière générale, les décharges contrôlées sont réglementées par l'Ordonnance fédérale sur le traitement des déchets (OTD). Selon les caractéristiques hydrogéologiques du terrain, trois types de décharges contrôlées peuvent être autorisées :

- décharges contrôlées pour matériaux inertes (DCMI);
- décharges contrôlées pour résidus stabilisés (ISDS) ⁹;
- décharges contrôlées bioactives (DCB).

A Genève, il en existe trois :

- la décharge contrôlée bioactive du Nant de Châtillon. Elle reçoit les déchets ne pouvant pas être déposés en DCMI ou en ISDS (ex: matériaux d'excavation pollués);
- la DCMI de la Sablière du Cannelet SA. Elle reçoit des matériaux inertes et des déchets de chantiers, non pollués, dont 95 % du poids au moins est composé de matière minérale;
- la DCMI des Matériaux Alluvionnaires SA (M.A.S.A). Elle reçoit également des matériaux inertes et des déchets de chantier, non pollués, dont 95 % du poids au moins est composé de matière minérale.

Lorsque les caractéristiques hydrogéologiques ne le permettent pas, seule la mise en décharge pour matériaux terreux non pollués est acceptée, ainsi que le stipule la loi genevoise ¹⁰.

Sur le territoire genevois, sept décharges pour matériaux terreux sont actuellement en service :

- Losinger SA
- Holcim SA
- Bardograves SA
- Sablière du Cannelet SA
- Matériaux alluvionnaires SA (M.A.S.A)
- Astié & Fils SA
- Gravière d'Epeisses SA

⁹ ISDS = Installation de stockage de déchets stabilisés.

¹⁰ Loi et règlement d'application sur les gravières et exploitations assimilées (L 3 10 et L 3 10.03).

6.1.5 Composants de béton maigre, de béton de construction armé et de béton spécial

Le rapport d'Ecodéchets (Ecodéchets, 2002) traite en détail du recyclage du béton. Il en ressort les principaux points suivants :

- la mise en œuvre de grave recyclée dans la fabrication de béton s'avère possible, que ce soit pour des bétons maigres ou dits classés. Techniquement, une grave recyclée de qualité ne se distingue pas fondamentalement d'une grave naturelle : elle peut être mise en œuvre tout en respectant la norme SIA 262 concernant les ouvrages en béton.
- les graves recyclées actuellement produites sur le territoire du canton de Genève ne sont, à ce jour, pas adaptées aux différentes mises en œuvre possibles. En effet, elles ne respectent pas les normes de l'OFEV.
- l'expérience suisse alémanique montre qu'une amélioration de l'acceptabilité et de la crédibilité des matériaux recyclés passe indubitablement par le respect des critères de qualité, tels que ceux édictés par la directive de l'OFEV. Cette directive a été reprise par l'Association Suisse de déconstruction, triage et recyclage (ASR) et par ses membres.
- les acteurs concernés par la mise en œuvre de bétons à base de graves recyclées, ou simplement par l'utilisation de grave recyclée, se déclarent généralement disposés à entrer en matière dans le cadre des soumissions.
- d'un point de vue économique, le prix, facteur déterminant pour le développement d'une filière de béton à base de grave recyclée, peut être compétitif.

6.1.6 La stabilisation

La stabilisation est une alternative intéressante au remblaiement de la couche de fondation par du gravier pour les routes et les places. Les méthodes de stabilisation permettent aux sols d'obtenir une portance nettement supérieure et contribuent par conséquent à réduire l'épaisseur de la couche de fondation de la superstructure.

Il existe quatre types de stabilisation :

- la stabilisation à la chaux
- la stabilisation au ciment
- la stabilisation avec un mélange de chaux et de ciment
- la stabilisation au liant hydrocarboné (bitume)

Actuellement, le mélange de chaux et de ciment est la méthode de stabilisation la plus courante. Selon le fuseau granulométrique du sol à stabiliser, la chaux est plutôt utilisée sur des sols argileux, alors que l'on préfère le ciment sur des sols de limons sableux.

La réalisation d'une stabilisation passe par les étapes suivantes :

- après l'élimination des éventuelles grosses pierres, racines et autres impuretés, l'agent stabilisateur (3 à 5 %) est épandu sur le sol à l'aide d'un épandeur mécanique ou à la main;
- le mélange entre l'agent stabilisateur et le sol s'effectue par passages répétés d'un scarificateur, jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. La profondeur du traitement dépend de l'engin utilisé et varie entre 15 et 40 cm;
- au plus tôt quatre heures après l'épandage, le mélange est compacté jusqu'à l'obtention de la portance requise.

La stabilisation convient bien pour le traitement de grandes surfaces, telles que le parking P48 à l'aéroport international de Genève, ou le parking de l'entreprise Vacheron Constantin à Plan-les-Ouates. En dessous d'une surface de 4'000 m², les techniques de stabilisation ne sont pas rentables.

Théoriquement, il est envisageable de stabiliser une moraine argileuse ou intermédiaire¹¹ avec de la chaux et du ciment. L'entreprise Gravière d'Epeisses SA étudie actuellement cette option, sous sa variante in situ, c'est-à-dire qu'elle stabilise sur son site la moraine et transporte le mélange encore non stabilisé sur le chantier.

6.2 Matériaux inertes : état des lieux des pratiques actuelles

Cette section présente un état des lieux des pratiques actuelles des entreprises concernées par les matériaux inertes, telles que :

- les entreprises productrices de grave alluvionnaire et de grave recyclée
- les entreprises de terrassement
- les entreprises de gros œuvre
- les entreprises de génie civil

6.2.1 Les entreprises productrices de grave alluvionnaire et de grave recyclée

Huit entreprises actives dans l'extraction de graves naturelles et/ou la production de grave recyclée opèrent sur le canton de Genève.

Quatre entreprises utilisent des déchets de démolition de routes pour produire leur grave recyclée. L'une d'entre elle étudie, en collaboration avec l'EPFL, un procédé qui lui permettra de récupérer les enrobés bitumineux des superstructures routières pour fabriquer du béton maigre. Deux d'entre elles insèrent les déchets d'enrobés dans la préparation de leur grave recyclée.

La plus grande partie de la grave recyclée genevoise provient des différents secteurs du bâtiment (démolition, construction) et du génie civil. Cette grave recyclée contient un mélange de béton, de brique et un très faible pourcentage (moins de 3 %, en accord avec la norme SN 670 062) de corps étrangers tels que des chutes de bois, du plastique ou de l'enrobé bitumineux.

Si la moraine contient un taux d'argile faible (< 8 %), deux entreprises la recyclent. La production de boue, lors du lavage, constitue le principal inconvénient de ce procédé.

Une autre entreprise recycle également la moraine. Elle travaille uniquement à sec avec un tapis roulant qui secoue la terre et élimine les parties fines.

Une dernière a déjà effectué des essais de recyclage de moraine à raison de 800 tonnes/jour (300 to/jour si la moraine contient un taux élevé de fines).

6.2.2 Les entreprises de terrassement

Les cinq principales entreprises de terrassement actives sur le canton ont fait l'objet de visites dans le cadre des études mandatées par le GEDEC. Dans la mesure du possible, ces entreprises valorisent les matériaux d'excavation.

De manière générale, aucune entreprise n'envoie de la moraine graveleuse en décharge. Lorsqu'elles ne disposent pas de la place nécessaire pour son stockage, ces entreprises traitent la moraine graveleuse dans leurs installations de recyclage.

La moraine intermédiaire est soit réutilisée sur place pour le comblement de fouilles, soit recyclée en grave alluvionnaire lorsqu'elle contient un faible un taux d'argile (< 8 %). Elle est malheureusement également envoyée parfois en décharge.

¹¹ L'expression «moraine intermédiaire» désigne une moraine avec des pourcentages de graviers, sable, limon et argile variables, à différencier des moraines argileuse (bleue) et graveleuse.

Quant à la moraine à forte teneur en argile, elle est majoritairement envoyée en décharge pour matériaux terreux, ou employée pour la fabrication de casiers étanches de décharge bioactive. Certains privés l'utilisent également pour étanchéifier des étangs. A l'exception d'un ancien bras de glacier dont l'argile est exploitée, aucune autre argile sur le territoire du canton ne présente les propriétés physico-chimiques nécessaires pour la fabrication de tuiles et de briques.

6.2.3 Les entreprises de gros œuvre

Cinq entreprises genevoises de gros œuvre ont été contactées. Elles sont principalement actives dans les travaux de construction et utilisent des matériaux inertes.

Aucune des entreprises interviewée n'utilise régulièrement de la grave recyclée pour la fabrication de béton non classé et classé. Seul quelques essais ont été effectués notamment pour la réalisation du Centre de transformation et de distribution des SIG à la Praille et pour la construction des nouveaux espaces récupération. Toutefois, la plupart d'entre elles se déclarent prêtes à utiliser de la grave recyclée pour mettre en oeuvre du béton non classé, pour autant que les conditions suivantes soient respectées :

- le producteur de granulats doit produire des graves de recyclage de bonne qualité, avec un suivi et des contrôles pour garantir le respect des normes en vigueur durant toute la durée du chantier;
- la grave recyclée ne doit pas contenir des impuretés qui, par la suite, risqueraient d'altérer les propriétés du béton;
- le producteur de grave recyclée doit pouvoir assurer un approvisionnement durant toute la durée du chantier;
- le béton doit pouvoir être produit in-situ¹² ou ex-situ¹³.

Environ 80 % des pistes de chantier sont rendues praticables avec de la grave recyclée. Dans de rares cas, les entreprises utilisent de la grave alluvionnaire, par crainte que la grave recyclée ne contienne des résidus métalliques susceptibles de crever les pneus des camions (même si cela ne se produit que rarement avec les techniques de déferrailage actuelles.)

Lorsque le sol offre une mauvaise portance, les entreprises font parfois appel à la technique de stabilisation exposée précédemment (section 6.1.6).

Lorsque le maître d'ouvrage le permet, les entreprises comblent volontiers les parafouilles avec des matériaux dits de moins bonne qualité, comme la moraine intermédiaire. Toutefois, deux inconvénients limitent son utilisation :

- elle ne doit pas être mouillée car, dans ce cas, il est quasiment impossible de la mettre en place.
- il faut plus d'énergie pour la compacter.

¹² L'entreprise de gros oeuvre devra pouvoir mettre à disposition une à deux centrales à béton sur le chantier.

¹³ A ce sujet, voir les conclusions du rapport "Béton recyclé et inertes recyclables (Ecodéchets, 2002).

6.2.4 Les entreprises de génie civil

Les entreprises de génie civil sont actives dans les travaux de routes ou de fouilles. Elles utilisent de grandes quantités de graves pour les remblais et les soutènements.

Pour le comblement de fouilles contenant des canalisations d'eau potable, de gaz et d'électricité, les Services industriels de Genève (SIG) exigent l'utilisation de sable lavé pour la zone d'enrobage et de grave alluvionnaire pour la zone de remblayage. En juillet 2000, les SIG ont publié un rapport sur l'utilisation de granulats de verre récupéré pour la pose de conduites. Ce rapport parvient aux principales conclusions suivantes :

- lors d'intervention sur des fuites, le sable de verre peut s'introduire dans les conduites d'eau potable et risque de présenter un danger pour le consommateur;
- le sable étant abrasif, les tuyaux seront griffés au-delà des critères admissibles;
- le sable de verre est un meilleur isolant thermique que le sable alluvionnaire, ce qui contribue à augmenter la résistivité des câbles électriques;
- le risque de coupures est important lorsqu'il faut dégager les conduites, et par conséquent le port des gants devient obligatoire;
- le prix du sable de verre est élevé par rapport au sable alluvionnaire;
- le risque de pollution des nappes phréatiques est accru.

Bien que le recours au verre concassé permette d'économiser le sable alluvionnaire, les SIG n'acceptent actuellement pas son utilisation dans les fondations des chaussées, pour les raisons précisées ci-dessus.

Cependant, la Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE) a édicté des recommandations (SSIGE GW 1000) qui autorisent l'emploi de verre concassé pour l'enrobage de conduites en zone urbaine, ainsi que de graves de recyclage P pour le remblayage des fouilles (Annexe 4 SSIGE GW 1000).

A Genève, une entreprise produit du verre concassé. Elle écoule son stock par le biais d'entreprises privées.

Pour le remblayage des canalisations d'eaux usées, les exigences sont moins importantes. En effet, les SIG, le canton et les communes en charge de ces travaux, acceptent l'utilisation de grave recyclée dans la zone de remblayage.

Pour les fondations routières, les entreprises de génie civil ont recours aux configurations suivantes :

- uniquement de la grave alluvionnaire
- uniquement de la grave recyclée, si le maître d'œuvre n'a pas d'objection
- de la grave recyclée au-dessus de laquelle est posée une couche de grave alluvionnaire

Comme énoncé précédemment, l'épaisseur des couches de grave pour l'infrastructure dépend du volume de trafic et du type de sol. Seule cette épaisseur varie, selon qu'il s'agit de pistes cyclables ou de routes adjacentes. Lorsque le sol est de trop mauvaise qualité, on procède à une stabilisation.

6.3 *Propositions*

Arrivé au terme de cette synthèse sur l'utilisation des matériaux inertes, une constatation s'impose : d'une manière générale, on a tendance à utiliser des matériaux de qualité supérieure à celle requise. Or, dans bien des cas, il s'avèrerait certainement possible de recourir à des matériaux recyclés, ce qui permettrait d'économiser la grave alluvionnaire.

Cependant, pour confirmer le potentiel des matériaux recyclés, des études techniques complémentaires devront être réalisées. Dans les pages suivantes, un tableau de synthèse (Tableau 6.3.1) offre une vue d'ensemble des différents matériaux recommandés pour chaque type de travaux. La colonne de droite donne la liste de ces matériaux : ils apparaissent en rouge lorsque leur utilisation nécessite des compléments d'études. Sous réserve des résultats de ces compléments d'étude, l'utilisation de ces matériaux pourra être largement recommandée.

En plus des recommandations figurant dans le tableau, notons encore que les filières possibles pour la moraine argileuse sont les suivantes :

- amendement des terrains agricoles
- étanchement de casiers de décharges
- étanchement d'étangs

Quant à la molasse, la filière possible est le concassage suivi d'un criblage pour former une grave concassée.

6.3.1 Tableau de synthèse des matériaux utilisés et recommandés pour divers types de travaux

Type de travaux	Restrictions techniques	Matériaux utilisés actuellement	Matériaux recommandés Vert : Ok – Rouge: A tester
<p>Bétons non classés</p> <ul style="list-style-type: none"> - Béton maigre de fondation - Murs de cloisonnement - Béton d'enrobage 	<p>Diamètre max 63 mm Courbe granulométrique (SIA 262 / 5 14 24)</p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B (max 7 % de matériaux bitumineux) Granulat de béton Granulat non trié (fixé selon l'utilisation prévue du béton)</p> <p>- étanchéité, résistance</p>	<p>Grave alluvionnaire : très souvent Grave recyclée : rarement</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B (max 7 % de matériaux bitumineux) Granulat de béton Granulat non trié (test labo)</p>
<p>Bétons classés</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construction armée - Dalle, radier - Mur porteur 	<p>Diamètre max 32 mm Courbe granulométrique (SIA 262 / 5 14 24)</p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P * Granulat de béton * Granulat non trié (max 3 % de matériaux minéraux non trié) * * si exposé aux intempéries, pas de bois et 0 % matériaux bitumineux</p>	<p>Grave alluvionnaire : très souvent Grave recyclée : rarement</p>	<p>Grave alluvionnaire Grave recyclée/ Grave alluvionnaire (50/50)</p> <p><i>Grave recyclée (100 %, test)</i></p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P * Granulat de béton * Granulat non trié (max 3 % de matériaux minéraux non trié) * * si exposé aux intempéries, pas de bois et 0 % matériaux bitumineux</p>
<p>Bétons spéciaux</p> 	<p>Diamètre max 32 mm Courbe granulométrique (SIA 262 / 5 14 24)</p>	<p>Grave alluvionnaire : toujours</p>	<p>Grave alluvionnaire</p>
<p>Pistes de chantier</p> 	<p>Courbe granulométrique non spécifiée</p> <p>Les travaux de remblais doivent respecter la norme SNV 640 576 Afin de permettre un compactage conforme à la norme SNV 640 585</p> <p>- <i>Grave recyclée :</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B</p>	<p>Grave recyclée : très souvent Grave alluvionnaire : rarement Moraine graveleuse : rarement Moraine intermédiaire : rarement Tout venant : rarement</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B Granulat de béton Granulat non trié</p> <p>Moraine intermédiaire Tout venant</p>
<p>Parafouilles</p> 	<p>Courbe granulométrique: Grave I ou II</p> <p>Les travaux de remblais doivent respecter la norme SNV 640 576 Afin de permettre un compactage conforme à la norme SNV 640 585</p> <p>- <i>Grave recyclée :</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B</p>	<p>Grave alluvionnaire : souvent Grave recyclée : souvent Moraine graveleuse : rarement Moraine intermédiaire : rarement Tout venant : souvent</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B Granulat de béton (revêtement ?) Granulat non trié (revêtement ?)</p> <p>Moraine graveleuse Moraine intermédiaire Tout venant</p>

Type de travaux	Restrictions techniques	Matériaux utilisés actuellement	Matériaux recommandés Vert : Ok – Rouge: A tester
Remblais sans exigences particulières 	<p>Courbe granulométrique: Grave I ou II</p> <p>Les travaux de remblais doivent respecter la norme SNV 640 576 Afin de permettre un compactage conforme à la norme SNV 640 585</p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B</p>	<p>Grave alluvionnaire : souvent Grave recyclée : souvent Moraine graveleuse : rarement Moraine intermédiaire : rarement Tout venant : souvent</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B Granulat de béton (revêtement ?) Granulat non trié (revêtement ?)</p> <p>Moraine graveleuse Moraine intermédiaire Tout venant</p>
Fouilles - Eau potable - Electricité - Gaz - Fibre optique 	<p>Courbe granulométrique : Grave I ou II</p> <p>Exigences SIG : Zone d'enrobage : sable lavé Zone de remblayage : grave alluvionnaire</p> <p>Exigences SSIGE : Permet l'utilisation de matériaux de substitution (grave de recyclage P - sable non lavé – sable de verre)</p> <p>Selon l'emplacement des fouilles se référer aux restrictions liés aux : - remblais sans exigences particulières - infrastructures routières</p>	<p>Grave alluvionnaire : souvent Tout venant : rarement</p>	<p>Moraine graveleuse Tout venant</p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P</p> <p>Sable de verre</p>
Collecteurs - Eaux claires - Eaux usées - 	<p>Courbe granulométrique : Grave I ou II</p> <p>Selon l'emplacement des fouilles se référer aux restrictions liés aux : - remblais sans exigences particulières - infrastructures routières</p>	<p>Grave alluvionnaire : souvent Grave recyclée : très souvent Moraine graveleuse : rarement Moraine intermédiaire : rarement Tout venant : très souvent</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage B Granulat de béton (revêtement ?) Granulat non trié (revêtement ?)</p> <p>Moraine graveleuse Moraine intermédiaire Tout venant (tenir compte d'un éventuel revêtement)</p>
Infrastructures routières Couche de fondation 	<p>Courbe granulométrique : Grave I</p> <p>Dimensionnement selon la norme SN 640 324a</p> <p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage A Grave de recyclage B Granulat de béton Granulat non trié</p>	<p>Grave alluvionnaire : très souvent Grave recyclée : rarement Moraine graveleuse : rarement Tout venant : souvent</p>	<p>- <i>Grave recyclée:</i> Grave de recyclage P Grave de recyclage A Grave de recyclage B Granulat de béton Granulat non trié</p> <p>Moraine graveleuse Tout venant</p> <p>Granulat bitumineux (couche de planéité)</p>
Stabilisation 	<p>Aucune restriction particulière si ce n'est les teneurs en fines gélives (limon)</p>	<p>Moraine intermédiaire : très souvent Moraine argileuse : souvent Tout venant : rarement</p>	<p>Moraine intermédiaire Moraine argileuse</p>

Type de travaux	Restrictions techniques	Matériaux utilisés actuellement	Matériaux recommandés Vert : Ok – Rouge: A tester
Revêtement bitumineux 	Normé selon SN 640 740	-Granulat dur selon norme + liant -Granulat dur avec 15 % de granulat recyclé provenant de récupération matériaux routiers + liants (Colas)	Granulat bitumineux Grave recyclée avec pose à froid (normé) couche fondation à froid. Enrobé à chaud +15 %-60 % granulat recyclé suivant couche (installations particulières)

Tableau 15 : Synthèse des débouchés possibles pour les différents matériaux inertes.
 (Source : Ecoservices, 2005)

7. Aspects économiques

7.1 Prix du béton

Le Tableau 16, ci-dessous, donne un éventail de prix concernant les bétons classés et maigres en vente dans différentes parties de la Suisse. Il indique que les ordres de grandeur de prix des bétons primaires et recyclés sont équivalents. La comparaison directe est toutefois difficile car les caractéristiques des bétons sont rarement identiques, tout comme les prix de la matière première suivant les cantons (la grave, naturelle ou recyclée compte pour 40 à 50 % du prix de mise en œuvre). Il faut donc se garder d'en conclure trop hâtivement que le béton recyclé est d'ores et déjà concurrentiel.

Fabricant	Béton classé				Béton maigre					
	B35/25 0-16 CP 300	%	B35/25 0-32 CP 300	%	0-16 CP 200	%	0-32 CP 200	CP	%	
Claie aux Moines SA (Vd)	143.-	112					123.-		123	
			139.-	113						
Béton Frais Grandson SA (Vd)	138.-	108					133.-		133	
			136.-	111						
Marin / Coffrane (Vd)	140.-	109			119.-		119.-		119	
			136.-	111						
Probéton SA (Ge)			120.-/130.-	100			102.-/105.-		105	
Région Berne (info de 3 fournisseurs)	133.- à 141.- CP 325		121.- à 130.-		112.-		108.-			
Région Zurich (info de 3 fournisseurs)	152.- à 154.- CP 325		142.- à 145.-		131.- à 134.-		127.- à 129.-			
Béton recyclé										
Claie aux Moines SA (Vd) Ecobéton 0-20 CP 200					98.- (0-20)				98	
Ebirec (Zh) RC-Beton B	128.- (CP 325)	100								
			123.-	100						
RC-Beton M (Be)					100.-		100.-		100	

Tableau 16 : Prix départ centrale par m³, hors TVA, béton sans adjuvant ou ni propriété particulière. (Source: Ecodéchets, 2002)

En Suisse alémanique, la société Ebirec considère qu'un béton à base de granulats recyclés revient de 5 à 10 % plus cher environ. A l'inverse, dans le canton de Vaud, le béton maigre proposé à base de granulats recyclés est environ 20 % moins cher qu'un béton primaire comparable. Enfin, à Genève, les premières expériences montrent une perspective économiquement viable dans l'utilisation de matériaux inertes recyclés pour la fabrication du béton. Le béton recyclé est certes encore environ 10 % plus cher, ce qui serait dû à sa fabrication artisanale et à sa mise en œuvre un peu plus compliquée, mais, de l'avis des fabricants de béton, l'écart devrait se réduire, dès lors que le béton recyclé sera produit de façon industrielle.

Il n'en reste pas moins que, pour l'instant, le maître d'ouvrage désireux de mettre en œuvre du béton recyclé sur son chantier doit accepter de le payer plus cher.

7.2 Prix des graves

Selon un producteur de matériaux naturels, le prix de vente des graves se situe entre 30/40 F le m³ s'il est procédé à une analyse de la granulométrie puis à une reconstitution de la grave. Sans reconstitution, le prix oscille entre 25/30 F, ce qui est plus bas que les prix indicatifs du Groupement des entreprises genevoises d'extraction de gravier (GEG)¹⁴.

Un recycleur confirme que les prix des matériaux naturels effectivement pratiqués sont inférieurs de 40 % au tarif indicatif, alors que, selon lui, ils devraient idéalement se situer à 15-20 % au-dessus. Les recycleurs sont en effet bien forcés d'aligner leurs prix sur ceux des graves alluvionnaires, étant donné que c'est le prix qui détermine la demande.

Les coûts de transport élevés (notamment du fait de la taxe poids lourds, RPLP) limitent la concurrence entre producteurs de matériaux naturels. En effet, la concurrence reste circonscrite à une zone géographique restreinte (les environs de la gravière), ou s'effectue en fonction du partage géographique naturel entre gravières. Les prix de vente effectifs des graves naturelles dépendent des conditions d'exploitation spécifiques à chaque entreprise : volume, distance et transport (dont le coût est d'environ Frs 20.- /m³).

Le Tableau 17 indique une fourchette de prix pour les matériaux que l'on peut acquérir à Genève. Le Tableau indique également les coûts d'une stabilisation et les montants des taxes de mise en décharge pour les matériaux d'excavation.

Matériau / Prestation	Prix [CHF/m ³]*
Grave alluvionnaire reconstituée avec analyse granulométrique	30.-/m ³ à 40.-/m ³
Grave alluvionnaire non reconstituée avec analyse granulométrique	25.-/m ³ à 30.-/m ³
Grave recyclée reconstituée avec analyse granulométrique	35.-/m ³ à 45.-/m ³
Grave recyclée reconstituée sans analyse granulométrique	20.-/m ³ à 30.-/m ³
Stabilisation	60.-/m ³ à 80.-/m ³
Décharge pour matériaux terreux	5.-/m ³ à 15.-/m ³
Décharge en DCMI	40.-/m ³ à 60.-/m ³

Tableau 17 : Prix des matériaux et de la mise en décharge. (Source: Ecoservices 2005)

*Prix de la marchandise auquel il faut rajouter le prix du transport. Le prix de transport d'une benne de 10 m³ s'élève à ~ Fr. 20.-/m³.

Ce tableau met bien en évidence le fait que les prix de la grave alluvionnaire et de la grave recyclée sont équivalents. En effet, le coût de production d'une grave recyclée de qualité est quasiment identique à celui d'une grave alluvionnaire. Cependant, afin d'écouler leur stock, les recycleurs diminuent leur marge et proposent des produits moins chers. Cette façon de faire permet certes de produire de la grave recyclée concurrentielle, mais elle n'incite pas à l'utilisation des produits recyclés et met en danger la pérennité des entreprises de recyclage.

Pour ce qui est de la grave recyclée (issue de démolition) conforme à la fabrication de béton, le coût est d'environ 20 % supérieur à une grave alluvionnaire à ce jour.

A noter que pour des surfaces supérieures à 8'000 m², le coût d'une stabilisation s'avère plus avantageux que la pose d'une grave.

¹⁴ Le prix indicatif du GEG (valable dès le 1er janvier 2003) de vente des matériaux bruts triés se situe entre 45 et 55 F le m³, celui des matériaux lavés entre 41 et 58 F, celui des matériaux concassés entre 55 et 74 F, et celui des matériaux recyclés (sans sable de verre recyclé) entre 23 et 30 F.

7.3 Instruments économiques d'incitation

Sur mandat du GEDEC, les bureaux Eco'Diagnostic et Ecodéchets Sàrl ont conjointement évalué les aspects économiques et financiers de l'usage de graves recyclées dans le canton de Genève (Eco'Diagnostic, 2004). Il s'agissait d'une part de tirer les enseignements des expériences menées à l'étranger, et d'autre part d'analyser les particularités genevoises en ce domaine. L'objectif final était de contribuer à formuler des propositions pour la politique que l'Etat pourrait suivre afin d'inciter les acteurs de la construction à s'engager dans la voie du recyclage à grande échelle.

Si l'Etat désire accélérer l'utilisation de matériaux recyclés à Genève, il peut recourir aux deux instruments économiques déjà en vigueur dans plusieurs pays européens étudiés : une taxe sur la mise en décharge et une taxe sur les matériaux vendus.

Taxe sur la mise en décharge

Il s'agirait d'introduire une taxe de mise en décharge dans un but incitatif, et non dissuasif. Ce serait donc une taxe temporaire et à faible taux, qui s'appliquerait à tous les déchets, ou à certaines catégories de déchets uniquement (déchets inertes, par exemple). Le cas échéant, cette taxe pourrait être augmentée, en fonction des circonstances du marché.

Les expériences étrangères ont montré que la taxe sur la mise en décharge, accompagnée d'autres mesures ponctuelles, se révélait très efficace pour augmenter le taux de recyclage du béton. Avec la loi sur la gestion des déchets (L 1 20) du 20 mai 1999, le Conseil d'Etat a déjà la possibilité légale d'introduire une telle taxe jusqu'à concurrence de 30 F par tonne. Ce montant serait encore inférieur à celui déjà en vigueur aux Pays-Bas, en Suède ou au Danemark. Ces trois pays se trouvent partiellement dans une situation aiguë de manque de graves naturelles, avec des possibilités d'importation limitées. En général, les pays qui appliquent une telle taxe affectent son produit au financement du budget général.

Dans le cas du canton de Genève, cette mesure ne serait efficace que si les exportations de déchets en France voisine pouvaient être limitées. En effet, une taxe sur la mise en décharge inciterait sans doute les entrepreneurs à exporter leurs déchets en dehors du canton. Cela impliquerait donc une coopération avec la France, dont on ne voit pas à priori quelle forme elle pourrait prendre.

Taxe sur les matériaux vendus

L'autre mesure dont dispose l'Etat serait d'augmenter la redevance pour les frais de prospection et de surveillance des gravières, perçue sur les volumes de matériaux vendus (actuellement 50 centimes par m³). Cette mesure contribuerait à rendre les matériaux recyclés compétitifs, voir même plus avantageux que les matériaux naturels. Outre que cette mesure nécessiterait une modification de la loi sur les gravières (L 3 10) du 28 octobre 1999, elle se heurterait, elle aussi, à la concurrence des graves étrangères. Il n'y aurait donc pas de réelle garantie que le marché se déplace en direction de l'utilisation de graves recyclées.

En conclusion, les deux instruments économiques d'incitation à l'utilisation de graves recyclées qui ont fait leur preuve à l'étranger ne sont malheureusement guère utilisables à Genève, en raison de la situation géographique tout à fait particulière du canton qui est entièrement entouré par la France.

7.4 Cas pratiques de transactions

La réutilisation de certains matériaux de construction est une excellente chose. Encore faut-il s'assurer qu'il existe une coordination efficace entre chantiers, comme indiqué précédemment avec l'exemple du chantier du nouveau Stade de Genève (Ch. 3, Section 3.3). Ce constat ne vaut pas seulement pour les implications environnementales, mais aussi pour les prix.

Les trois figures ci-dessous présentent trois scénarios concernant la transaction des matériaux d'excavation. Elle met en scène deux maître d'ouvrage dont l'un désire évacuer 50 m³ de moraine intermédiaire (MO 1), et l'autre remblayer ses parafouilles, également avec 50 m³ de moraine intermédiaire (MO 2). Comme on peut le constater, les marges des différents protagonistes, ainsi que les coûts totaux des chantiers, ne dépendent pas uniquement des prix des matériaux.

Scénario 1 : Transaction avec un transporteur différent pour deux chantiers (taxe de décharge et acquisition de matériaux comprise)

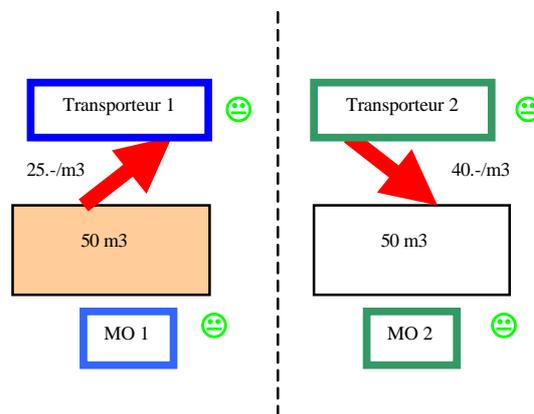


Figure 18 : Schéma du scénario 1. (Source :Ecoservices 2005)

Dans ce cas, les maîtres d'ouvrage payent respectivement 1'250 F (MO 1) et 2'000 F (MO 2). Chaque transporteur gagne 1'000 F (hors taxe de mise en décharge et achat des matériaux)

Scénario 2 : Transaction avec un transporteur gérant les deux chantiers (sans taxe de décharge et acquisition des matériaux)

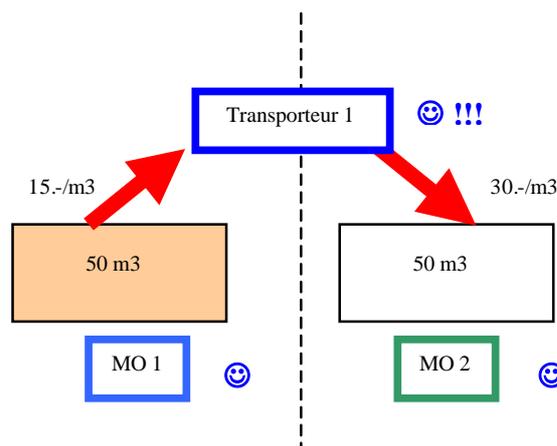


Figure 19 : Schéma du scénario 2. (Source :Ecoservices 2005)

Dans ce cas, le transporteur ne paye pas la taxe de décharge ni l'acquisition des matériaux, ce qui lui permet de proposer une remise aux deux maîtres d'ouvrage. Ainsi, les maîtres d'ouvrage payent respectivement 750 F (MO 1) et 1'500 F (MO 2), soit une économie de 500 F par rapport au cas de figure précédent. Au total, le transporteur facture 2'250 F. Il réalise ainsi un gain de 1'250 F par rapport au premier scénario.

Scénario 3 : Transaction concertée entre deux maîtres d'ouvrage

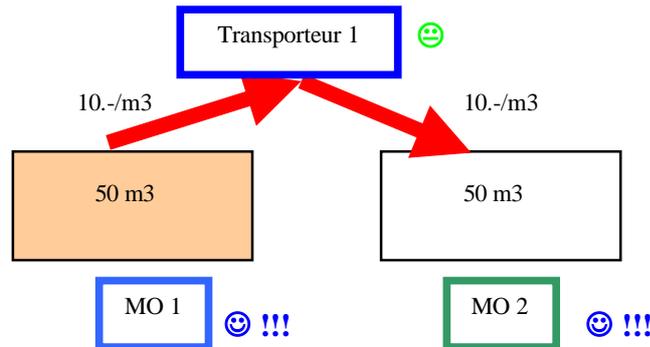


Figure 20 : schéma du scénario 3. (Source :Ecoservices 2005)

Dans ce cas, les maîtres d'ouvrage payent uniquement, à deux, le transport des matériaux, soit 500 F chacun et économisent respectivement 750 F (MO 1) et 1'500 F (MO 2) par rapport au premier scénario. Le transporteur gagne, comme dans le premier scénario, 1'000 F.

Il faut également souligner que les deux derniers scénarios permettent de réduire la pollution liée aux transports.

Les deux premiers scénarios font partis des pratiques actuelles. Le troisième scénario est une perspective que le canton devrait encourager (exemple: bourse d'échange). Dans une perspective globale d'encouragement de l'utilisation de matériaux recyclés, ce genre d'opérations pourrait contrebalancer les coûts plus élevés de mise en œuvre du béton recyclé. Il n'y aurait donc globalement pas de surcoût pour le maître d'ouvrage désireux de construire de façon durable.

8. Récapitulation, recommandations et plan d'action

8.1 Récapitulation

Les enseignements les plus importants issus des divers rapports dont provient la présente synthèse sont les suivants :

- L'utilisation des ressources en sable et gravier du canton de Genève n'est pas durable. Selon le plan directeur des gravières et au rythme actuel d'exploitation, les gravières genevoises seront épuisées d'ici 70 ans au maximum. De l'avis des professionnels de la branche, cette durée sera bien inférieure et pourrait ne pas excéder une génération. Aujourd'hui, seuls 20 % de l'ensemble des matériaux utilisés dans la construction sont recyclés. Il s'agit le plus souvent de downcycling ne permettant pas d'économiser de la grave naturelle.
- Chaque année, un million de mètres cubes de matériaux d'excavation sont évacués des chantiers genevois. Seuls 8 % ont été recyclés en 2003. Les autres sont mis en décharge, c'est-à-dire utilisés pour combler les gravières à Genève ou en France voisine. L'épuisement rapide du gravier aura pour corollaire la disparition des volumes de décharge sur sol genevois. Genève sera alors non seulement dépendante de l'étranger pour son approvisionnement en graves, mais aussi pour l'évacuation des déblais. Cela est plus grave, car ces déblais ont une connotation de déchet. Or autant les transports de marchandises en tout genre entre les pays ne posent plus aucun problème, autant aujourd'hui encore, les mouvements transfrontières de déchets peuvent être en tout temps interrompus au gré des mouvements d'humeur des populations concernées.
- Si des matériaux recyclés étaient systématiquement mis en oeuvre sur les chantiers genevois et utilisés de façon adéquate, et si les matériaux d'excavation riches en graves étaient réutilisés ou recyclés (extraction des graves par lavage) au lieu d'être mis en décharge, la durée de vie des gravières genevoises pourrait être doublée.
- Des différentes applications potentielles des matériaux recyclés, certaines ont déjà fait l'objet de mises en oeuvre réussies. D'autres doivent encore être validées par des mises en oeuvre sur des chantiers test en grandeur nature.
- L'utilisation de grave recyclée dans la fabrication de béton est possible, que ce soit pour des bétons maigres ou classés. Techniquement, une grave recyclée de qualité ne se distingue pas fondamentalement d'une grave naturelle et peut être utilisée tout en respectant la norme SIA 262 relative aux ouvrages en béton.
- Les graves recyclées actuellement produites sur le canton de Genève ne sont, à ce jour, pas toujours adaptées aux différentes mises en oeuvre possible. Elles ne respectent en effet pas toujours la directive de l'OFEV.
- L'expérience suisse alémanique montre qu'une amélioration de l'acceptabilité ou de la respectabilité des matériaux recyclés passe indubitablement par le respect des critères de qualité tels que ceux de la directive de l'OFEV reprise par l'ASR et ses membres.
- La hausse du taux de démolition (pronostiquée par les analystes du secteur du bâtiment) n'aura qu'une très faible influence sur le prolongement de la durée de vie de la grave naturelle. Il ne faut donc pas attendre une solution miracle au problème genevois de ce côté-là.
- Les acteurs concernés par la mise en oeuvre de béton à base de grave recyclée ou simplement par l'utilisation de grave recyclée (maîtres d'ouvrages, mandataires, entrepreneurs) sont dans la plupart des cas disposés à entrer en matière dans le cadre des soumissions. Il manque toutefois à ce stade un catalyseur. Tous attendent que l'Etat prenne ses responsabilités et mette en oeuvre diverses mesures incitatives.

- D'un point de vue économique, le prix, facteur déterminant dans toute perspective de développement de l'utilisation des matériaux recyclés, n'est pas encore toujours compétitif mais pourrait le devenir. En raison de la proximité avec la France, l'Etat ne peut mettre en œuvre une mesure incitative de nature économique.

8.2 Recommandations

Les recommandations présentées ici proviennent des différents rapports sur lesquels est basée cette synthèse. De l'avis des auteurs de ces rapports, lui-même fondé sur les nombreux échanges partagés avec les membres de la profession, ces recommandations font la synthèse de ce qui devrait être entrepris à Genève pour augmenter rapidement l'utilisation de matériaux recyclés sur les chantiers, dès lors que des mesures d'incitation de nature économique ne sont pas envisageables. La question des obstacles éventuels à leur mise en œuvre n'est pas abordée à ce stade. Ces recommandations sont classées selon qu'elles soient de nature organisationnelle ou technique. Puis le rôle des différents acteurs de la filière est abordé. Enfin est présentée une liste de mesures relevant directement de l'Etat.

Pour une meilleure coordination

Il est certain que l'utilisation des graves recyclées passe par une homogénéisation et une pérennisation de la qualité des granulats. De plus, il est impératif de pouvoir alimenter un chantier d'une grave de qualité constante sur toute sa durée. Pour cela, il est nécessaire de :

- mettre en place une plate forme de stockage gérée par une entreprise ou un organisme indépendant; cette plate forme servirait de stock qui permettrait de fournir des graves recyclées homogènes pour chacune des classes décrites dans les directives de l'OFEV; elle garantirait l'approvisionnement de matériaux recyclés ou de moraine de bonne qualité et une stabilité économique du marché;
- mettre en place une bourse d'échange de moraine graveleuse et intermédiaire;
- concerter la transaction des matériaux d'excavation, en premier lieu entre les chantiers de l'Etat;
- mettre à jour le catalogue des articles normalisés (CAN) concernant les couches de fondation et l'exploitation de matériaux (CFC 221.96) avec l'insertion de nouveaux articles (moraines, tout venant, sables de verre, ...); les bureaux d'architectes et d'ingénieurs se basent en effet sur ce catalogue pour rédiger leurs soumissions.

8.2.1 Recommandations techniques

Comme l'a montré l'étude sur les débouchés possibles pour les matériaux recyclés, chaque classe de matériau doit suivre une filière techniquement appropriée. Afin de pouvoir appliquer et respecter les directives fédérales, il est nécessaire de :

- obliger les producteurs de graves recyclées à fournir une qualité irréprochable de leurs matériaux et conforme à la directive de l'OFEV;
- interdire l'utilisation de grave alluvionnaire dans les pistes de chantier et dans les travaux de remblayages (parafouilles, collecteurs d'eaux claires/usées,...) au profit de graves recyclées, de moraine graveleuse et intermédiaire et de tout venant;
- encourager l'utilisation de grave de recyclage P, de moraine graveleuse et intermédiaire, de tout venant et de sable non lavé ou sable de verre dans les travaux de remblayages et d'enrobages des fouilles SIG;
- privilégier l'utilisation de graves recyclées dans les couches de fondation routière;
- stabiliser le sol en place lorsque les surfaces sont importantes;
- favoriser le recyclage de la moraine intermédiaire;

- utiliser la moraine argileuse dans l'amendement des terrains agricoles et dans les travaux d'étanchement;

8.2.2 Définir le rôle de chacun

De la production des graves de recyclage à leur utilisation sur un chantier, il est primordial que toutes les parties impliquées respectent le cadre légal. Ce qui implique notamment que :

- le producteur de granulats produise des graves de recyclage et des granulats issus de déchets de chantier minéraux de bonne qualité, exerce un contrôle et un suivi de la qualité des produits recyclés, qu'il respecte les normes en vigueur, qu'il soit au courant des restrictions d'utilisation et en informe ses clients;
- l'entrepreneur mandaté s'engage à n'utiliser que des matériaux de récupération de qualité certifiée et à respecter les éventuelles restrictions d'utilisation;
- l'architecte/ingénieur demande expressément l'utilisation de graves recyclées et contrôle que leur mise en oeuvre a lieu dans les règles;
- les autorités compétentes contrôlent si la production et l'utilisation des matériaux de recyclage satisfont aux prescriptions légales.

8.2.3 Mesures relevant directement de l'Etat

- L'Etat doit consentir un effort important en matière de statistique, de collecte et de centralisation des données. D'une manière générale, cet effort a pour objectif d'aider les pouvoirs publics à prendre les décisions adéquates pour tenter de résoudre l'inéluctable problème de la diminution des ressources naturelles.
- Il incombe à l'Etat de promouvoir activement l'utilisation de grave recyclée. En particulier, compte tenu de l'importance de la commande publique, l'Etat peut exercer une influence décisive en l'utilisant sur ses propres chantiers. L'Etat peut ainsi renforcer l'image des produits recyclés, y compris en créant un label de qualité ou/et par des campagnes d'information et de formation appropriées.
- L'Etat pourrait subventionner les constructions comprenant des matériaux recyclés (ou directement les matériaux eux-mêmes), ou encore accorder des subsides aux maîtres d'ouvrage utilisant des matériaux recyclés, à condition que le surcoût dû aux produits recyclés soit prouvé. Une autre possibilité serait d'aider les recycleurs, par exemple pour leurs investissements de rationalisation et de mise à niveau technique. Toutefois, les subventions ou aides financières doivent rester modestes et d'une durée limitée.
- L'Etat pourrait également subordonner les opérations de démolition, de rénovation et de construction, à l'élaboration d'un plan détaillé et achevé de gestion des déchets (acteurs, catégories et volumes de déchets, traitement, répartition des volumes, tri sur site), à l'exemple de la Norvège.
- Il convient de soutenir la recherche et le développement en matière de recyclage des matériaux de construction et de favoriser l'innovation, de façon à contribuer à l'émergence d'une structure industrielle complète.
- Enfin, il faut souligner que parmi les recommandations formulées par les différents acteurs de la branche, la mesure la plus souvent citée est celle consistant, lors des soumissions, à imposer l'utilisation de grave recyclée.

8.3 Plan d'action

Que ce soit sur le plan technique, économique, structurel, ou de la volonté des autorités et des professionnels, Genève présente tout le potentiel nécessaire à une utilisation durable des matériaux de construction. Comme martelé tout au long de ce rapport, celle-ci passera nécessairement par le respect des directives de l'OFEV relatives à la qualité et à l'utilisation des matériaux recyclés. La mise en œuvre des recommandations présentées ci-dessus, qui ne sont bien entendu pas exhaustives, devraient permettre d'atteindre ces objectifs. Finalement, les expériences menées à l'étranger, notamment dans les pays nordiques, montrent qu'un taux de réutilisation des matériaux de construction de 90 % est possible.

Il convient maintenant de passer résolument à l'action. Le groupe de travail interdépartemental Ecosite, relayé par le service cantonal de gestion des déchets (GEDEC), entend pour ce faire procéder de la manière suivante :

1. Faire respecter à Genève la directive fédérale pour la valorisation des déchets de chantier minéraux. Cette tâche d'autorité relève du GEDEC. Elle se joue premièrement au niveau des autorisations d'exploiter délivrées aux recycleurs de déchets de chantier fixes ou mobiles. Une première autorisation a été délivrée début 2006. Les autres suivront dans la foulée. Une large information à la profession (mandataires, entrepreneurs) sur l'utilisation correcte des matériaux recyclés sera effectuée au printemps 2006. D'ici fin 2006, chaque acteur genevois sera au courant de ses obligations en la matière. Des mesures plus coercitives suivront le moment venu.
2. Réaliser les essais grandeur nature nécessaires à la validation des différentes applications potentielles des matériaux recyclés, telles qu'elles sont proposées dans ce document (voir chapitre 6.3). Pour ce faire, il est nécessaire de mettre sur pied un groupe de travail comprenant des représentants des mandataires (AGI) et des entrepreneurs genevois (SSE), ainsi que des maîtres d'ouvrage publics (direction des bâtiments et direction du génie civil du DCTI, SIG, etc.).
3. Discuter avec le groupe de travail précédemment constitué l'opportunité et la faisabilité des diverses recommandations présentées ci-dessus (chapitre 8.2). Le cas échéant faire aboutir ces dossiers.
4. Lancer la dynamique en utilisant sans plus attendre les matériaux recyclés sur les chantiers de l'Etat. Une directive à ce sujet, élaborée dans le cadre du programme Ecologie au travail (rôle exemplaire de l'Etat) est à bout touchant et devrait pouvoir être présentée au Conseil d'Etat encore en 2006.
5. Réaliser des expériences pilote plus audacieuses qui serviront de référence à Genève. Trois bâtiments ont déjà été construits: le poste de transformation de SIG à la Praille et les deux Espaces de récupération des Chânets et de la Praille. La future maison de l'environnement pourrait être un quatrième exemple encore plus audacieux.
6. Une fois les applications potentielles validées par les essais grandeur nature, concevoir et réaliser un concept d'information pour la profession sous forme de guide des matériaux recyclés ou autre.

9. Glossaire

Agenda 21

Plan d'action pour le 21^{ème} siècle, en vue d'un développement durable, qui est la recherche d'un équilibre entre l'efficacité économique, la solidarité sociale et la responsabilité écologique.

L'Agenda 21 local, appliqué quand à lui aux villes et collectivités recommande que "toutes les collectivités locales instaurent un dialogue avec les habitants, les organisations locales et les entreprises privées afin d'adopter un programme Action 21 à l'échelon de la collectivité".

Aires de stockage

Espaces réservés à l'entreposage de matériaux de récupération qui remplissent les exigences écologiques de la Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux (OFEV, 1997). Le détenteur des matériaux de récupération doit garantir que ceux-ci restent destinés uniquement à l'usage prescrit.

Béton de démolition

Matériau obtenu lors de la démolition ou du fraisage d'ouvrages ou de revêtements en béton armé ou non armé. (cf. *Granulat de béton*)

Béton de recyclage

Béton classé ou non classé, dont les granulats se composent entièrement ou partiellement de granulats de béton, de granulats non triés ou de grave de recyclage.

DCB

Décharge contrôlée bioactive (description complète dans l'ordonnance sur le traitement des déchets).

DCMI

Décharge contrôlée pour matériaux inertes (description complète dans l'ordonnance sur le traitement des déchets).

Déchets de chantier

Tout déchet provenant d'activités de construction ou de démolition.

Déchets de chantier minéraux

Partie des déchets de chantier qui n'ont pas besoin d'être traités avant d'être entreposés dans une décharge contrôlée pour matériaux inertes (art. 9 OTD). La directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux (OFEV, juillet 1997) distingue les matériaux bitumineux de démolition des routes, les matériaux non bitumineux de démolition des routes, le béton de démolition et les matériaux minéraux non triés.

Déchets spéciaux

Déchets dont l'élimination respectueuse de l'environnement exige la mise en œuvre de mesures particulières. La liste de ces déchets figure à l'annexe 3 de l'Ordonnance fédérale sur les mouvements de déchets spéciaux (ODS).

Déconstruction

Technique de démontage ou de démolition d'un ouvrage qui a pour objectif de trier les déchets produits sur le chantier pour assurer leur élimination adéquate et, si possible, leur valorisation.

Downcycling

Recyclage de déchets avec perte de qualité et donc de valeur. Exemple: concassage de béton, de brique et de catelle avec obtention d'une grave de recyclage non triée (mélangée). C'est comme le sucre dans le café... une fois mélangé... impossible de le récupérer...

Ecosite

Groupe de travail chargé de la mise en oeuvre de l'article 12 de l'Agenda 21 du canton de Genève. Il comprend plusieurs représentants de différents départements de l'administration cantonale qui étudient les synergies possibles entre activités économiques en vue de minimiser leur impact sur l'environnement.

Fouille

Volume de remblayage après excavation effectuée pour la pose de canalisations ou de conduites (gaz, électricité, etc.).

Goudron

Résultat de la pyrolyse à haute température (1100 – 1300 °C) de la houille. Le goudron, nocif pour la santé, contient des HAP et des phénols. Le mélange bitume-goudron a été utilisé pendant des décennies en imprégnations et enduits superficiels (gravillonnage).

Granulat bitumineux

Matériau de récupération obtenu par réduction de matériau bitumineux de démolition à une taille qui n'excède pas 32mm.

Granulat de béton

Matériau de récupération obtenu à partir de béton de démolition

Granulat de stabilisation

Granulat de récupération obtenu par traitement des matériaux des couches de support ou de fondation stabilisée aux liants hydrauliques.

Granulat de récupération

Granulats obtenus par traitement des matériaux de démolition. Matériau non bitumineux de démolition, matériau (grave de recyclage et granulat de stabilisation) provenant de la collecte, du défonçage ou du fraisage de couches de fondation non liées et de couches de support ou de fondations stabilisées aux liants hydrauliques.

Granulat non trié

Matériau de récupération obtenu par traitement de matériaux minéraux non triés

Grave alluvionnaire

Moraine graveleuse criblée, parfois lavée, pour former une grave dont la granulométrie correspond au fuseau d'une grave I (0-63mm), d'une grave II (0-90mm) ou d'un gravier à béton (0-32mm).

Grave gélive: grave naturelle ou recyclée contenant des matériaux sensibles au gel (fines, limons)

Grave non gélive: grave naturelle ou recyclée lavée non sensible au gel (pas ou peu de fines).

Grave provenant d'un substratum rocheux

Grave provenant d'un socle rocheux, concassée, criblée et parfois lavée pour reformer une grave dont la granulométrie correspond au fuseau d'une grave I (0-63mm), d'une grave II (0-90mm) ou d'un gravier à béton (0-32 mm). -> ex. substratum rocheux : Carrières du Salève, molasse, gros cailloux.

Grave recyclée

Matériaux inertes provenant d'une démolition devant être concassés, criblés et parfois lavés pour reformer une grave de type A, B, P, granulats de béton et granulats non triés et dont la granulométrie correspond au fuseau d'une grave I (0-63mm), d'une grave II (0-90mm) ou d'un gravier à béton (0-32mm).

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Terme générique de composés chimiques contenant des noyaux aromatiques. Ils proviennent en général de la combustion de matières organiques. Certains de ces composés sont cancérigènes (benzopyrène) et/ou mutagènes. La contamination peut se faire par les poumons, la peau et le tube digestif. Sur le plan environnemental, les HAP sont susceptibles de polluer les eaux (malgré leur faible solubilité), ainsi que l'air (lors du chauffage en centrale d'enrobage). Les HAP ici en cause proviennent de la pyrolyse de la houille lors de la fabrication de goudron.

Liant

Produit qui sert à enrober des granulats pour faire un revêtement routier. On distingue des liants hydrocarbonés (goudron, bitume) et hydrauliques (ciment).

Matériaux bitumineux (de démolition des routes)

Terme générique désignant aussi bien le produit de fraisage à froid, couche par couche, d'un revêtement bitumineux que les morceaux de revêtement résultant de la démolition de celui-ci. (cf. *Granulats bitumineux*)

Matériaux non bitumineux (de démolition des routes)

Terme générique désignant les matériaux obtenus par excavation, défonçage ou fraisage de couches de fondation non liées et de couches de support et de fondation stabilisées. (cf. *Grave de recyclage P, A et B*)

Matériaux inertes

Sont considérés comme matériaux inertes les déchets constitués pour au moins 95 % du poids de minéraux tels que les silicates, carbonates ou aluminates (OTD, annexe 1-1). Leur teneur en substances polluantes telles que les métaux lourds, doit être inférieure aux valeurs limites imposées par la législation et les directives de l'OFEV.

Matériaux minéraux non triés (de démolition)

Mélange de déchets de chantier minéraux provenant exclusivement d'éléments de maçonnerie en béton, en briques de terre cuite, en briques silico-calcaires et en pierre naturelle. (cf. *Granulats non triés*)

Matériaux d'excavation

Matériaux excavés lors de travaux de génie civil ou de construction tels que fouilles, tunnels, cavernes et galeries. Ils comprennent : les roches meubles, les rochers concassés et les matériaux provenant de constructions antérieures ou de sites pollués.

Matériaux de récupération

Matériaux de construction obtenus par traitement de déchets de chantier, qui respectent les exigences techniques et écologiques. La directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux (OFEV, juillet 1997) distingue six matériaux minéraux de récupération préparés à partir des quatre catégories de déchets de chantier minéraux. Lorsqu'ils sont valorisés conformément à cette directive, ils ne sont plus considérés comme des déchets.

Matières premières secondaires

Matériaux, issus de la récupération d'un déchet, correspondant à des spécifications de qualité leur permettant d'être réintroduits sur le marché des matières premières.

Molasse

Roche mère du sous-sol genevois.

Moraine argileuse

Moraine avec un fort pourcentage d'argile, nommée également la bleue.

Moraine intermédiaire

Moraine avec des pourcentages de graviers, sable, limon et argile très variables.

Moraine graveleuse

Moraine avec un fort pourcentage de gravier (cailloutis de retrait + cailloutis morainiques profonds).

Parafouille

Volume de remblayage autour des bâtiments.

Tout venant

Matériaux terreux de bonne qualité provenant de sous-couches routières ou de parafouilles, dont le pourcentage de fines est faible et dont la granulométrie assure une bonne stabilité naturelle.

Recyclage

Réintroduction d'un déchet dans un cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge. Le recyclage peut intervenir dans le même cycle de production que le produit d'origine (cas du verre ou des métaux) ou dans un cycle différent, pour une production généralement « moins noble » (downcycling).

Remise en culture (comblement)

On entend par remise en culture le comblement de sites d'extraction de matériaux comme les gravières et les marnières, avec des matériaux d'excavation non pollués.

Revêtement

Couche liée (asphalte ou béton) qui empêche les eaux de s'infiltrer dans les matériaux sous-jacents. Les couches superficielles obtenues à partir d'argile, de marne ou de granulat bitumineux laminé ne remplissent pas les exigences pour revêtements.

Stockage définitif

Stockage en décharge dont les pertes de substances sont compatibles avec les milieux (air, eau et sol) de l'environnement, à court terme comme à long terme, sans qu'un traitement ultérieur ne soit nécessaire.

Taux de récupération

Indicateur exprimé en % qui mesure le pourcentage d'un déchet récupéré au moyen de collectes sélectives par rapport au gisement total de ce déchet.

Taux de recyclage

Indicateur exprimé en % qui mesure le pourcentage des opérations qui transforment un déchet en vue d'obtenir une matière première secondaire, par rapport au volume total du dit déchet.

Valorisation

Terme générique recouvrant le réemploi, la réutilisation, le recyclage, la régénération ou la valorisation énergétique des déchets.

10. Références

(Ecodéchets, 2002)

Ecodéchets Sàrl : Béton recyclé et inertes recyclables, Genève, 2002.

(Eco'diagnostic, 2004)

Étude des aspects économiques et financiers de l'usage de graves recyclées dans le canton de Genève, Eco'diagnostic (en collaboration avec Ecoservices SA), Genève, 2004.

(Ecoservices, 2004a)

Ecoservices S.A : Etat des lieux de la filière bitumineux sur le canton de Genève, Genève, 2004.

(Ecoservices, 2004b)

Calvelo, José et Pietro Godenzi : Problématique de l'utilisation des matériaux d'excavation : filières et débouchés, Ecoservices SA, Genève, 2004.

(Ecoservices, 2005)

Ecoservices S.A. : Problématique de l'utilisation des matériaux d'excavation, des graves naturelles et des graves recyclées: filières et débouchés, Genève, 2005.

(Ecoservices, 2006)

Ecoservices S.A. : Comparaison du coût énergétique du béton de recyclage et du béton classique, Genève, 2004.

(Faist –Emenegger & al,

Faist-Emenegger, Mireille & al. : Métabolisme des activités économiques du canton de Genève - Phase 1, Genève, 2003.

(GEDEC, 2002)

Service cantonal de gestion des déchets (GEDEC) : 100 % recyclable, Genève, 2002.

(GEDEC, 2005)

Service cantonal de gestion des déchets (GEDEC) : Ecologie industrielle à Genève, premiers résultats et perspectives, Genève, 2005.

(Houmard, 2004)

Houmard, Jean-François : Grave naturelle, grave recyclée, matériaux d'excavation: modélisation et perspectives pour le Canton de Genève, Travail de diplôme de Génie de l'environnement, EPFZ, Genève, décembre 2004.

(OFEV, 1990) :

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEV) : Ordonnance du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets (OTD), Berne, 1990.

(OFEV, 1997) :

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEV) : Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux, Berne, 1997.

(OFEV, 1999)

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEV) : Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais, Berne, 1999.

(SCG, 1984)

Service cantonal de géologie : Les ressources en gravier du canton de Genève et l'avenir de son approvisionnement, République et canton de Genève, Département de l'intérieur, de l'agriculture, de l'environnement et de l'énergie, 1984.

(SCG, 1999)

Service cantonal de géologie : Plan directeur des gravières, République et canton de Genève, Département de l'intérieur, de l'agriculture, de l'environnement et de l'énergie, 1999.

(SIA, 1998)

Société des ingénieurs et des architectes (SIA) : Document D0148f, Béton et environnement, Zurich, 1998.