

GESTION COMPARÉE DES MÂCHEFERS AU QUÉBEC ET DANS D'AUTRES JURIDICTIONS

par  
Olivier Guilbault

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de  
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Marc Olivier

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juin 2013

## SOMMAIRE

Mots-clés : charbon, enfouissement, gare de triage, incinération, mâchefer, mise en valeur, ordures ménagères, réhabilitation, terrains contaminés

Chaque jour, des milliers de tonnes de matières résiduelles de nature extrêmement variable sont éliminées. Parmi celles-ci se trouvent les mâchefers. Par définition, le mâchefer est un résidu solide issu de la combustion du charbon ou de l'incinération des ordures ménagères. Ces résidus doivent être gérés conformément aux lois et règlements en vigueur. Au Québec, bien que les quantités de mâchefers de charbon et de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères générées soient assez faibles, ces derniers sont en très grande majorité envoyés dans des lieux d'enfouissement techniques. Lorsque ces sites atteignent leur durée de vie utile, d'autres solutions doivent être trouvées, ce qui occasionne souvent des problèmes sociaux et environnementaux. C'est pourquoi, au fil des années, de plus en plus d'intervenants s'intéressent à la mise en valeur des matières résiduelles, pour les détourner de ces sites.

Au Québec, la possibilité de mettre en valeur les mâchefers est bien réelle et des outils encadrant leur mise en valeur sont déjà en place. Cependant, cette option n'est pas commune. Dans plusieurs autres pays occidentaux où les quantités de mâchefers générées sont beaucoup plus importantes, l'enfouissement de ceux-ci est une option très peu retenue. De plus, plusieurs recherches étrangères démontrent de nets avantages géotechniques et environnementaux à la mise en valeur des mâchefers, par exemple leur incorporation dans divers produits.

L'objectif principal de l'essai est de comparer les modes de gestion des mâchefers au Québec et d'autres pays occidentaux, dans le but de proposer des recommandations qui visent à améliorer de façon durable le mode de gestion des mâchefers québécois.

L'étude du contexte réglementaire du Québec, la revue des modes de gestion des mâchefers dans d'autres juridictions et au Québec, ainsi que la description du projet de réhabilitation environnementale de l'ancienne gare de triage d'Outremont, ont permis de dégager quatre recommandations. Ces dernières concernent les règlements, les outils d'encadrement en place, les redevances exigibles à l'enfouissement et la recherche dans le domaine de l'incorporation de matières résiduelles dans divers produits, comme le béton et l'asphalte.

## REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de cet essai, je tiens tout d'abord à remercier mon directeur d'essai, monsieur Marc Olivier, qui m'a grandement aidé dans la formulation du sujet de l'essai et ses précieux conseils. Sa bonne humeur et son intérêt tout au long de la rédaction de cet essai ont été grandement appréciés.

Je remercie également madame Suzanne Burelle du MDDEFP, directrice des matières résiduelles pour l'ensemble du Québec, pour avoir accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions. Ses réponses ont été très pertinentes à la rédaction de certaines sections.

Je remercie également madame Annie Gauthier, directrice de projets chez GENIVAR et monsieur Ian Gagnon, chargé de projets chez GENIVAR, pour avoir accepté de me fournir des informations absolument nécessaires à la rédaction du chapitre portant sur l'étude de cas du projet du site Outremont.

Je tiens finalement à remercier tous les membres de ma famille qui m'ont toujours motivé à persévérer dans la rédaction de cet essai et ce, du début à la fin de ce long processus.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	3
1.1 Mâchefers de combustion du charbon .....	3
1.1.1 Types de résidus des centrales thermiques au charbon.....	4
1.1.2 Composition chimique des mâchefers de charbon .....	6
1.1.3 Propriétés physiques des mâchefers de charbon .....	7
1.2 Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères .....	8
1.2.1 Types de résidus des incinérateurs d'ordures ménagères .....	9
1.2.2 Composition chimique .....	10
1.2.3 Propriétés physiques.....	10
1.2.4 Sources historiques et actuelles .....	11
2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE AU QUÉBEC .....	12
2.1 Lois et règlements encadrant la gestion des mâchefers .....	12
2.1.1 <i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> .....	12
2.1.2 <i>Politique de protection et de réhabilitation des terrains</i> .....	14
2.1.3 <i>Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains</i> .....	15
2.1.4 <i>Règlement sur l'élimination et l'incinération des matières résiduelles</i> .....	15
2.1.5 <i>Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés</i> .....	16
2.1.6 <i>Règlement sur les matières dangereuses</i> .....	16
2.2 Position du MDDEFP concernant la gestion globale des mâchefers.....	17
2.3 Position du MDDEFP concernant la mise en valeur .....	19
3. GESTION DES MÂCHEFERS DANS D'AUTRES JURIDICTIONS .....	21
3.1 Dans les provinces canadiennes.....	21
3.1.1 Alberta.....	21
3.1.2 Ontario .....	22
3.2 États-Unis .....	22
3.3 Europe .....	24
3.3.1 Mâchefers de charbon .....	25
3.3.2 Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères.....	26
3.4 France .....	27

3.5 Royaume-Uni .....	28
3.6 Danemark .....	30
3.7 Allemagne .....	30
3.8 Suisse .....	30
4.1 Gestion actuelle au Québec .....	34
4.1.1 Procédure du <i>Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses</i> .....	35
4.2 Comparaison avec les modes de gestion d'autres juridictions .....	41
5. ÉTUDE DE CAS : RÉHABILITATION ENVIRONNEMENTALE DE L'ANCIENNE GARE DE TRIAGE D'OUTREMONT .....	45
5.1 Description du projet.....	45
5.1.1 Historique du site Outremont.....	46
5.2 Problématique et description générale du site.....	46
5.3 Plan de réhabilitation .....	47
5.4 Mode de gestion des mâchefers .....	49
6. RECOMMANDATIONS .....	52
6.1 Améliorer et optimiser les outils d'encadrement et les procédures .....	52
6.2 Rendre les outils et les règlements plus souples .....	53
6.3 Rendre l'enfouissement plus difficile .....	54
6.4 Promouvoir la recherche dans les produits incorporant des mâchefers .....	54
CONCLUSION .....	56
RÉFÉRENCES.....	58
BIBLIOGRAPHIE .....	64
ANNEXE 1. ZONES DE RÉHABILITATION DE LA GARE DE TRIAGE D'OUTREMONT.....	65

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 3.1 : Schéma de classification des RCC selon la législation européenne .....	26
Figure 4.1 : Procédure d'évaluation du GVMRIND .....	38
Tableau 1.1 : Types de charbon .....	3
Tableau 1.2 : Modes et options de gestion envisageables pour les cendres volantes.....	5
Tableau 1.3 : Composés chimiques des mâchefers .....	7
Tableau 3.1 : Classification des MIOM en France.....	28
Tableau 3.2 : Synthèse et points importants des juridictions étudiées en Amérique.....	32
Tableau 3.3 : Synthèse et points importants des juridictions étudiées en Europe .....	33
Tableau 4.1 : Utilisations possibles des matériaux inorganiques résiduels selon les catégories .	40

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

°C	Degré Celsius
AID	Activité industrielle désignée
AMORCE	Association au carrefour des collectivités territoriales et des professionnels
CA	Certificat d'autorisation
CEN	Comité européen de normalisation
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
COT	Carbone organique total
CP	Canadien Pacifique
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>
EMSE	École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne
GES	Gaz à effet de serre
GVMRIND	<i>Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction</i>
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
LET	Lieu d'enfouissement technique
LQE	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>
MC	Mâchefer de charbon
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec
MIOM	Mâchefer d'incinération d'ordure ménagère
MTQ	Ministère des Transports du Québec
OFRIR	Observatoire Français du Recyclage
PPRT	<i>Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés</i>

RCC	Résidus de combustion du charbon
REACH	<i>Système intégré d'enregistrement, d'évaluation, d'autorisation et de restrictions des substances chimiques</i>
REIMR	<i>Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles</i>
RESC	<i>Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés</i>
RIOM	Résidus d'incinération d'ordures ménagères
RMD	<i>Règlement sur les matières dangereuses</i>
RPRT	<i>Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains</i>
UdeM	Université de Montréal
UE	Union européenne
USEPA	<i>United states Environnement Protection Agency</i>
VLR	Valeur limite règlementaire



## LEXIQUE

Charbon	Combustible d'origine végétale, à base de carbone ( <i>Sia Partners, 2009</i> ).
Mâchefer	Résidu solide issu de la combustion du charbon ou de l'incinération des ordures ménagères ( <i>Sarazin, 2003</i> ).
Matière dangereuse	Matière qui, en raison de ses propriétés, présente un danger pour la santé ou l'environnement ( <i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> ).
Matière résiduelle	Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon ( <i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> ).

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs siècles, mais plus particulièrement depuis la révolution industrielle, les activités humaines génèrent d'importantes quantités de matières résiduelles, autant d'origines industrielles que domestiques. La gestion de ces dernières s'est considérablement améliorée au fil des années, mais une grande quantité est encore enfouie. Depuis quelques années, des efforts sont faits cependant pour réduire la part des matières résiduelles enfouies. En effet, l'application du principe des 3RV-E (réemploi, réduction, recyclage, valorisation, enfouissement), aide à diminuer le tonnage de matières résiduelles éliminées de cette façon, ce qui permet notamment d'augmenter la durée de vie des sites d'enfouissement existants et d'éviter la construction de nouveaux sites qui se heurtent dans bien des cas à des problèmes d'aménagement du territoire et d'acceptabilité sociale.

Parmi la très grande variété de matières résiduelles enfouies se trouvent les mâchefers. Il existe deux types de mâchefers, soit les mâchefers de charbon (MC), issus de la combustion du charbon, et les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM), issus de l'incinération des déchets domestiques, ou ordures ménagères. Dans les deux cas, les mâchefers sont un résidu à l'état solide. Au Québec, la très grande majorité des mâchefers sont éliminés dans des sites d'enfouissement.

L'objectif principal de cet essai est de comparer les modes de gestion des mâchefers en vigueur au Québec par rapport à d'autres pays occidentaux, dans le but de recommander des améliorations durables.

Les informations nécessaires à l'atteinte de l'objectif principal de l'essai proviennent principalement de documents gouvernementaux, mais également d'articles scientifiques, de mémoires, de thèses et d'articles de journaux. De plus, des entretiens avec des experts ont été réalisés pour obtenir des informations non publiées.

Au Québec, les MC sont la plupart du temps issu d'anciennes activités industrielles. Lorsqu'ils sont présents dans des remblais dits historiques, leur gestion se fait selon la section IV.2.1. de la

*Loi sur la qualité de l'environnement* qui concerne la gestion des terrains contaminés. Les MC sont principalement localisés dans la région de Montréal.

Pour ce qui est des MIOM, leur production est issue des deux seuls incinérateurs d'ordures ménagères au Québec, soit celui de la ville de Québec et celui de la ville de Lévis. L'élimination des MIOM est régie par le *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles* (REIMR).

Dans les deux cas, lorsque la mise en valeur est le mode de gestion des mâchefers retenu, leur gestion se fait selon le *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses* (GVMRIND) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP).

Pour atteindre l'objectif principal, il importe d'abord de comprendre l'origine, les propriétés, la composition et les sources des mâchefers, mais aussi le contexte réglementaire québécois en matière de gestion des mâchefers.

Ensuite, l'analyse des modes de gestion des mâchefers des autres juridictions porte sur le contexte réglementaire et les options de mises en valeur et d'élimination. Cette analyse comparative permettra d'identifier les forces et les faiblesses du mode de gestion québécois et des autres pays étudiés.

Par ailleurs, une étude de cas d'un projet où des quantités considérables de mâchefers ont été gérées, soit la réhabilitation environnementale de l'ancienne gare de triage d'Outremont, permet d'étudier concrètement comment la gestion des MC se fait sur le terrain au Québec.

Les recommandations qui sont proposées à la fin de cet essai tiennent compte de ces forces et faiblesses, de l'étude de cas et des principes du développement durable. Elles ont pour but d'améliorer, de façon générale, la gestion des MC et des MIOM au Québec dans une perspective de développement durable, ce qui inclut la réduction de la part des mâchefers enfouis et une augmentation de la part qui est mise en valeur.

## 1. MISE EN CONTEXTE

Les mâchefers peuvent être produits par deux types de procédés; soit la combustion du charbon et l'incinération des ordures ménagères. Ce chapitre vise à préciser le mode de production des mâchefers, les différents types, leur nature chimique, leurs propriétés ainsi que les sources de production passées et actuelles.

### 1.1 Mâchefers de combustion du charbon

Le charbon est un combustible fossile formé à partir de la dégradation de la matière organique des végétaux qui s'accumule en couches. Il est principalement composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Plus la quantité de carbone est élevée et plus la teneur en eau est basse, meilleure est la capacité calorifique. Le tableau 1.1 présente les différents types de charbon et leur teneur en carbone.

**Tableau 1.1 : Types de charbon** (inspiré de *Sia Partners*, 2009)

Types de charbon		Pouvoir calorifique (kJ/kg)	Teneur en carbone (%)
Houille	Anthracite	34 200	93 à 97
	Charbon maigre et houille anthraciteuse	35 450	90 à 93
	Charbon semi-gras ou semi-bitumineux	36 000	80 à 90
	Charbon gras ou bitumineux à coke	34 500	75 à 90
	Flambant	33 350	70 à 80
Lignite		25 000	50 à 60
Tourbe		12 500	< 50

Historiquement, le brûlage du charbon débute au XVII<sup>e</sup> siècle comme source d'énergie qui permet le développement industriel. Dans un deuxième temps, c'est au début du XVIII<sup>e</sup> siècle que le commerce international a pu se développer de façon exponentielle avec la construction des locomotives et des bateaux à vapeur alimentés par du charbon (Allô Prof, 2010). Cependant, les considérations environnementales étant quasi inexistantes autrefois, les mâchefers produits par l'industrie et les transports n'étaient pas gérés. La plupart du temps, ils étaient simplement

déversés ou disposés sur le sol, mélangés avec du sol, et/ou utilisés comme remblais. Encore aujourd'hui, des mâchefers historiques sont présents dans le sol, par exemple le long des voies ferrées.

De nos jours, les seules activités qui produisent des mâchefers sont les centrales thermiques au charbon. Elles sont surtout localisées dans les pays qui en possèdent de grandes réserves, comme les États-Unis, la Chine et l'Inde. Ces pays doivent donc gérer d'immenses quantités de mâchefers. Au Canada, 16 % de l'électricité est produite avec du charbon. Les centrales sont surtout localisées en Alberta, et de façon moins importante en Saskatchewan, en Ontario, en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick et au Manitoba. Aucune centrale de ce type n'est présente au Québec (Weis, 2012).

La combustion du charbon produit de la chaleur utilisée pour réchauffer de l'eau. La vapeur ainsi produite sert à faire tourner des roues, comme dans le cas des anciennes locomotives, ou une turbine couplée à un alternateur, dans le cas des centrales thermiques. Dans tous ces cas, la combustion du charbon produit des résidus de combustion du charbon (RCC) dans lesquels sont inclus les mâchefers.

Concernant le fonctionnement des centrales thermiques au charbon, ce dernier est brûlé dans une chaudière ou fournaise et la chaleur dégagée transforme l'eau d'un circuit fermé en vapeur. Cette vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur, qui génère l'électricité. La vapeur redevient ensuite de l'eau liquide en traversant le condenseur, puis repart pour un nouveau cycle vers la chaudière. Dans ces installations fonctionnant généralement en continu, les différents résidus de combustion du charbon doivent être gérés.

### **1.1.1 Types de résidus des centrales thermiques au charbon**

Les centrales thermiques au charbon génèrent deux types de RCC : les cendres volantes et les résidus solides, ou mâchefers. Les cendres volantes résultent de la combustion du charbon dans les chaudières. Elles sont constituées des composants inorganiques, présents dans le charbon, qui fusionnent entre eux pendant la combustion et deviennent une matière particulaire de très petite taille. Pendant qu'elles sont évacuées parmi les gaz d'échappement, elles se solidifient et prennent une forme sphérique. Elles sont ensuite collectées par des dépoussiéreurs

électrostatiques et/ou des filtres. La taille de ces particules varie entre 0,074 et 0,005 mm (Ariffin, 2007). Concernant leur disposition, elles sont soit mises dans des étangs à cendres étanches, soit déposées dans des sites d'enfouissement, soit réutilisées ou valorisées de différentes façons (*University of Kentucky, 2012*). Le tableau 1.2 présente ces différentes options possibles.

**Tableau 1.1 : Modes et options de gestion envisageables pour les cendres volantes** (inspiré de *University of Kentucky, 2012*)

Mode de gestion	Options possibles
Élimination	Enfouissement
	Disposition dans des puits de mine
Entreposage	Entreposage en piles
	Entreposage dans des étangs à cendres
Mise en valeur	Sous-couche de fondation (routes)
	Remblais et remplissage
	Amendement pour les sols
	Stabilisant pour les sols
	Ciment de Portland
	Particules microscopiques incorporées dans les peintures, revêtements ou adhésifs

Concernant les MC, deux sous-types technologiques peuvent être produits par les centrales au charbon. Une chaudière de type fond sec produit des mâchefers gris de la taille d'un sable fin à moyen, comparable à des cendres. Une chaudière de type fond humide produit des mâchefers noirs de la taille d'un sable grossier.

Quand le charbon est brûlé dans une chaudière de type à fond sec, environ 80 % des matériaux non brûlés (cendres volantes) sont entraînés par les gaz d'échappement. L'autre 20 % des matériaux non brûlés se déposent non pas dans le fond de la chaudière, mais dans une trémie. Lorsqu'une quantité suffisante y est présente, ils sont enlevés par des jets d'eau sous pression,

puis transportés soit dans un bassin de décantation pour y enlever l'eau et pour les mettre en pile. Ils peuvent aussi être entreposés dans un étang à cendres aménagé dans une structure étanche. Dans les deux cas, les mâchefers peuvent ensuite être valorisés ou enfouis (*Federal Highway Administration, 2012*).

Dans une chaudière de type à fond humide, les cendres volantes constituent de 20 à 50 % des RCC, dépendamment du type de chaudière à fond humide. Les cendres, quant à elles, sont déposées et conservées dans le fond de la chaudière où elles fondent. Le fond de la chaudière présente un orifice qui peut être ouvert de façon à permettre à ces cendres fondues de tomber dans une fosse remplie d'eau. Lorsqu'elles sont mises en contact avec cette eau, elles se fracturent, se cristallisent et forment un matériel noir, angulaire et vitreux. Les trémies sont nettoyées avec des jets d'eau sous pression, puis le résidu est entraîné dans un bassin de décantation ou un étang à cendres (*Federal Highway Administration, 2012*).

### **1.1.2 Composition chimique des mâchefers de charbon**

La composition chimique des mâchefers varie grandement selon la source et le type de charbon utilisé, mais aussi selon la technologie de combustion utilisée (température de combustion, additifs utilisés, mode de récupération des cendres, etc.) (*We Energies, 2012*). Des métaux lourds comme le mercure, le plomb et le cadmium, pour ne nommer que ceux-ci, sont présents en très faible quantité dans les RCC. Le tableau 1.2 présente les principaux constituants chimiques des mâchefers.

**Tableau 1.2 : Composés chimiques des mâchefers** (inspiré de *We Energies*, 2012)

Composé	Mâchefers de charbon bitumineux, chaudière à fond sec, % poids	Mâchefers de charbon semi-bitumineux, chaudière à fond sec, % poids	Mâchefers de charbon bitumineux, chaudière à fond humide, % poids	Mâchefers de charbon de lignite, chaudière à fond humide, % poids
SiO <sub>2</sub>	61	46,75	48,9	40,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,4	18,76	21,9	13,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,6	5,91	14,3	14,2
CaO	1,5	17,8	1,4	22,4
MgO	1	3,96	5,2	5,6
Na <sub>2</sub> O	0,9	1,28	0,7	1,7
K <sub>2</sub> O	0,2	0,31	0,1	1,1

Dans tous les cas, le principal composé qu'on retrouve dans les mâchefers de charbon est l'oxyde de silice (SiO<sub>2</sub>). Viennent ensuite l'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et l'oxyde ferrique (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). De plus, des composés organiques sont également présents dans les MC, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### 1.1.3 Propriétés physiques des mâchefers de charbon

Les mâchefers sont toujours à l'état solide. Si la combustion est imparfaite, ou à température non constante, comme dans le cas des anciennes locomotives, des morceaux de charbon imbrulés peuvent se retrouver avec les mâchefers. Cependant, dans le cas des centrales au charbon, les intrants et la combustion contrôlés génèrent des mâchefers relativement homogènes.

« Les facteurs qui influencent la taille des particules des mâchefers sont le type de charbon utilisé, les procédés de combustion utilisés et les équipements de récupération des cendres utilisés. » (*We Energies*, 2012)

Plusieurs études ont été réalisées sur les propriétés physiques et géotechniques des mâchefers, notamment pour évaluer leur utilisation éventuelle dans différents procédés ou matériaux. Les



résultats varient d'une étude à l'autre, mais de façon générale, ces études recommandent leur utilisation pour la construction de routes, comme remblais. En effet, les mâchefers auraient les mêmes propriétés que les sols traditionnellement utilisés comme remblais en termes de résistance, de compaction et de perméabilité, en plus d'avoir l'avantage d'avoir un poids sec plus léger (Kim, 2005).

Concernant la lixiviation des métaux lourds présents en trace dans les mâchefers, les points de vue sont très divergents. Les groupes écologistes et les groupes de pression considèrent que ces métaux peuvent lixivier à partir des mâchefers et avoir des impacts négatifs sur la santé et l'environnement, alors que certaines études scientifiques comme celles de Sijakova (2011) et Sarode (2010), disent plutôt que leurs niveaux sont trop faibles pour avoir de tels impacts, tout en mentionnant qu'ils varient grandement selon le type de charbon utilisé. Cependant, un rapport de l'Agence de protection de l'environnement (USEPA) mentionne que la capacité à lixivier très variable des RCC dépend énormément des facteurs ambiants et que des tests de lixiviation dans des conditions prédéterminées mènent la plupart du temps à des conclusions erronées sur la lixiviation des mâchefers sur le terrain (Kosson, 2009).

## **1.2 Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères**

Une alternative à l'ouverture de nouveaux sites d'enfouissement, dans plusieurs pays, est l'incinération des ordures ménagères. Cette technique permet de réduire de beaucoup leur volume et leur poids. La quantité de cendres produites représente entre 15 et 25 % du poids et entre 5 et 15 % du volume des ordures ménagères incinérées. Selon Quilici (2003), une tonne de déchets ménagers incinérés produit environ 250 kg de mâchefers.

Le fonctionnement d'une usine d'incinération d'ordures ménagères est assez simple. Premièrement, les déchets sont déversés dans une fosse où ils peuvent être homogénéisés, puis ils sont acheminés dans les fours. Différents types de fours sont utilisés, fonctionnant à des températures de combustion différentes. Généralement, la température de combustion varie de 500 à 800 Celsius (°C) (Environnement Canada, 2010). La combustion des déchets génère une chaleur qui peut être partiellement récupérée pour produire de la vapeur. Cette dernière peut ensuite servir au chauffage, à produire de l'électricité, ou bien être vendue. Deux types de

résidus d'incinération d'ordures ménagères (RIOM) sont produits par l'incinération; il s'agit des cendres volantes et des mâchefers.

### **1.2.1 Types de résidus des incinérateurs d'ordures ménagères**

Les cendres volantes sont récupérées par un dépoussiéreur et/ou un filtre. Elles représentent entre 10 % et 20 % du poids de tous les résidus solides produits par l'incinérateur, le reste étant des mâchefers. Leurs constituants chimiques sont les mêmes que ceux des mâchefers énumérés dans la section 2.2.2, seules leurs proportions varient. Elles sont considérées comme un déchet dangereux dans plusieurs pays, notamment à cause de leur teneur relativement élevée en métaux lourds et à cause de la présence occasionnelle de dioxines et de furanes. Malgré cela, elles peuvent être valorisées et réutilisées, par exemple dans différents types de ciment ou de béton pour la construction d'ouvrages ou d'infrastructures.

Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) sont extraits du fond du four, puis mis en pile. Par la suite, ils peuvent être déferrailés et/ou enfouis, ou valorisés.

« Les MIOM n'ont rien de commun avec les mâchefers de charbon : ils sont issus de la combustion, souvent imparfaite, de déchets hétérogènes mélangés, mal caractérisés, car de composition et d'origine incontrôlées. » (Sarazin, 2003)

La composition élémentaire des MIOM dépend de la composition des déchets incinérés, de la volatilité des éléments, du processus d'incinération et de l'efficacité des opérations de retrait des métaux et des imbrûlés. Elle peut donc varier dans le temps pour un site de production donné, et dans l'espace, d'un site de production à un autre (Anonyme, 2006). Généralement, les MIOM contiennent de nombreux déchets métalliques, des résidus minéraux incombustibles et des imbrûlés (os, pelures de fruits, cartons, plastiques, etc.) résultants de la combustion imparfaite de certains constituants peu combustibles ou trop humides lors de leur introduction dans le four. Selon Quilici (2003), du carbone organique demeure présent dans les mâchefers, car la combustion n'est jamais parfaite. Les mâchefers contiennent également une foule d'autres composés et résidus, dont certains sont toxiques, par exemple des piles électriques déformées lors de la combustion qui peuvent encore contenir des métaux lourds.

### **1.2.2 Composition chimique**

Selon Li (2004) et Lam (2010), les caractéristiques physiques et chimiques des MIOM dépendent de la composition des ordures ménagères, du type de four, de la température d'incinération, des conditions d'opération, etc.

Les principaux composés chimiques qu'on trouve dans les MIOM sont très semblables à ceux retrouvés dans les MC :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  et  $\text{SO}_3$  (Lam, 2010). Concernant les métaux lourds trouvés dans les mâchefers, les plus communs sont : Cr, Cu, Hg, Cd, Zn et Pb. Plusieurs autres métaux sont aussi présents. Selon Bertholon (2002), les métaux lourds comptent pour moins de 1 % de la composition des MIOM. Les études scientifiques font consensus sur une chose : selon la répartition et la nature des ordures ménagères, les mâchefers ont des teneurs en métaux lourds extrêmement variables. Différentes techniques existent pour retirer des mâchefers les sels, chlorures et métaux lourds qui s'y trouvent, selon l'utilisation visée des mâchefers (Lam, 2010).

### **1.2.3 Propriétés physiques**

Les MIOM se présentent sous forme de granules grisâtres, friables et hétérogènes de grosseur variable. Ils ont une grande sensibilité à l'eau et des propriétés mécaniques inférieures à celles des matériaux naturels traditionnellement utilisés (EMSE, 2001). De plus, les MIOM se distinguent des agrégats naturels par le fait qu'ils sont un mélange d'éléments de natures différentes peu ou pas liés entre eux, se répartissant différemment selon les classes granulométriques et aux caractéristiques différentes (OFRIR, 2006). Cependant, leur utilisation comme remblais ou couche de fond pour les routes est possible, pourvu qu'ils présentent des caractéristiques géotechniques suffisantes, par exemple en termes de compaction ou de résistance à l'eau.

Concernant la lixiviation des métaux lourds présents dans les MIOM, les résultats varient énormément d'une étude à l'autre. La quantité de métaux lourds qui lixivient des MIOM est influencée par la quantité de métaux présents dans les mâchefers (elle-même influencée par la composition des ordures ménagères), le pH des mâchefers, le pH et le type de solution d'extraction utilisée et la nature du sol dans lequel ils se retrouveront éventuellement. De plus,

il est extrêmement difficile de prévoir les comportements de ces métaux en fonction du temps. En effet, Takahashi et Shimaoka (2012) concluent que la modélisation géochimique semble être la seule façon de décrire le comportement et la lixiviation des éléments présents en trace dans les MIOM. Selon Feng (2007), les risques et impacts environnementaux des MIOM devraient être évalués par plusieurs tests avant que des décisions relatives à leur utilisation, à leur traitement ou à leur disposition ne soient prises.

#### **1.2.4 Sources historiques et actuelles**

Les premières usines d'incinération de déchets municipaux sont apparues à la fin des années 1800. À partir des années 1960, l'incinération s'est développée en raison des progrès technologiques, de la capacité à traiter des quantités importantes de déchets, et de la difficulté croissante de trouver des sites de décharge. C'est demeuré le cas dans certains pays comme le Japon qui gère jusqu'à 78 % de ses ordures ménagères municipales de cette façon. Par contre, l'incinération est tombée en désuétude depuis, si bien que la situation a évolué au Québec et au Canada qui n'ont que peu de ces infrastructures.

Actuellement, deux incinérateurs sont présents au Québec. Il s'agit du grand incinérateur à quatre fours de la ville de Québec, en service depuis 1974, et du petit de la ville de Lévis. Un incinérateur opérait aux Îles-de-la-Madeleine, mais il a été fermé en 2008.

Au Canada, d'autres incinérateurs sont en opération, mais ils ne sont pas très répandus. Ainsi, l'Ontario et l'Alberta opèrent chacun un seul incinérateur. L'enfouissement des déchets semble l'option la plus retenue dans le pays. En corollaire, le Québec et le Canada n'ont pas à gérer des quantités importantes de MIOM.

## **2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE AU QUÉBEC**

Cette section vise à décrire les principales lois et règlements applicables à la gestion des mâchefers au Québec. La réglementation ne visant pas spécifiquement ces derniers, il faut aborder le sujet sous l'angle de la réglementation concernant les matières résiduelles, les sols contaminés et les outils d'encadrement que le MDDEFP a mis en place.

### **2.1 Lois et règlements encadrant la gestion des mâchefers**

Au Québec, les MC sont souvent présents dans des remblais historiques hétérogènes. S'ils sont mélangés avec le sol, mais dans une proportion de moins de 50 %, c'est la réglementation relative aux sols contaminés qui s'applique et le matériau doit être géré comme un sol. Si les MC sont dans une proportion de 50 % ou plus, ou s'ils sont produits par une usine qui utilise le charbon comme combustible, ils doivent être gérés comme une matière résiduelle.

Les MIOM sont également gérés comme une matière résiduelle. Si le mode de gestion retenu pour ces matières résiduelles est l'élimination, c'est le REIMR qui s'applique. Cependant, si la valorisation est l'option de gestion retenue, ils doivent faire l'objet d'un certificat d'autorisation et leur gestion est encadrée dans le *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses comme matériau de construction* (GVMRIND). Ce guide a été produit afin de favoriser la mise en valeur des matières résiduelles, par exemple les mâchefers, dans le respect de l'environnement.

La *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE), principale loi québécoise en matière d'environnement, est l'ossature sur laquelle se rattachent les règlements et les politiques. Pour retrouver des normes techniques, il faut consulter les différents règlements qui en découlent.

#### **2.1.1 Loi sur la qualité de l'environnement**

L'article 1 de la LQE définit plusieurs termes. Dans le cadre de cet essai, il est bien important de comprendre ceux-ci.

Contaminant : « Une matière solide, liquide ou gazeuse, un microorganisme, un son, une vibration, un rayonnement, une chaleur, une odeur, une radiation ou toute combinaison de l'un ou l'autre susceptible d'altérer de quelque manière la qualité de l'environnement. »

Matière résiduelle : « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon. »

Matière dangereuse : « Toute matière qui, en raison de ses propriétés, présente un danger pour la santé ou l'environnement et qui est, au sens des règlements pris en application de la présente loi, explosive, gazeuse, inflammable, toxique, radioactive, corrosive, comburante ou lixiviable, ainsi que toute matière ou objet assimilé à une matière dangereuse selon les règlements. »

L'article 22 de la LQE impose que la valorisation des matières résiduelles doit faire l'objet d'un certificat d'autorisation, puisque cette activité n'est pas mentionnée dans le *Règlement relatif à l'application de la LQE* qui vise à soustraire certaines activités à l'application de l'article 22.

La section VII de la loi traite de la gestion des matières résiduelles. L'article 53.4.1 y indique que la *Politique de gestion des matières résiduelles*, ainsi que tout plan ou programme élaboré par le Ministre dans le domaine de la gestion des matières résiduelles doivent prioriser la gestion selon les 3RV-E (réduction, réemploi, recyclage, valorisation élimination). C'est dans cet ordre d'idée que le MDDEFP a, en 2002, produit le GVMRIND.

De plus, l'article 65 de la loi stipule qu'aucun terrain autrefois utilisé comme lieu d'élimination des matières résiduelles ne peut être utilisé à des fins de construction sans la permission écrite du Ministre. D'autres articles concernent les activités d'élimination et d'incinération et les pouvoirs des municipalités relativement à ces activités. Selon l'article 53.30, le gouvernement peut, par règlement, régir la récupération et la valorisation des matières résiduelles sur le territoire du Québec.

La LQE encadre aussi la gestion des terrains contaminés, notamment les articles présents dans la section IV.2.1. Dans cette section, les obligations applicables aux terrains sur lesquels ont été

exercées des activités industrielles désignées (AID) sont présentées. Cela concerne le risque de migration des contaminants (article 31.52), la cessation définitive de l'AID (article 31.51) et le changement d'utilisation du terrain (31.53). S'il y a une cessation définitive de l'AID, ou un changement d'utilisation du terrain où a été pratiquée une AID, il y a obligation de caractériser le terrain. Si la caractérisation révèle une concentration des contaminants excédants les valeurs limites réglementaires (VLR), il y a obligation de préparer un plan de réhabilitation. Lorsqu'une AID s'est déroulée sur un terrain dans le passé, la caractérisation et la réhabilitation doivent être approuvées par le Ministère.

Dans le cadre du plan de réhabilitation, une analyse de risque peut être incluse. Cette étude permet d'identifier si les contaminants peuvent être laissés sur le terrain, en évaluant les risques toxicologiques et écotoxicologiques et les impacts sur les eaux souterraines. Cette approche est encadrée aux articles 31.45 à 31.48 de la LQE. Cependant, cette dernière ne s'applique pas à certains types de contaminants, comme les produits pétroliers.

### **2.1.2 Politique de protection et de réhabilitation des terrains**

Bien qu'elle ne soit pas une loi ou un règlement, la *Politique de protection et de réhabilitation des terrains* (PPRT) est « l'élément clef de la stratégie ministérielle en matière de gestion des terrains contaminés au Québec » (MDDEFP, 2002). Elle présente les moyens pour évaluer et gérer le risque, que ce soit les critères génériques applicables (A, B et C) ou l'analyse de risque. Ces critères indiquent la concentration limite (VLR) des différents contaminants qu'un terrain peut avoir selon l'usage qui en est fait. Le critère A ne prévoit aucune restriction d'usage. Le critère B est le maximum acceptable pour un usage résidentiel, récréatif ou institutionnel et le critère C est le maximum acceptable pour un usage commercial ou industriel. Des critères d'usage pour l'eau souterraine tenant compte de l'impact potentiel ou réel sont également présents.

Cette Politique a indirectement un lien avec les MC. Puisque ces derniers contiennent des HAP et des métaux et lorsqu'ils sont mélangés avec du sol, il est probable qu'ils le contaminent. Les critères génériques applicables s'appliqueraient donc aux sols contenant des mâchefers. De plus,

des mesures de gestion du risque (mesures de confinement, mesures restrictives, etc.) prévues dans la Politique pourraient s'appliquer à un site contenant des MC, lors d'une analyse de risque.

Si la mise en valeur est le mode de gestion retenu pour les MIOM, la PPRT a directement un lien avec ces derniers. En effet, les critères génériques A et C de la PPRT pour les métaux et métalloïdes, par analogie aux sols, sont utilisés comme discriminants dans le but de classer les MIOM dans l'une ou l'autre des trois catégories.

### **2.1.3 Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains**

Bien que la PPRT n'ait pas force de loi, des modifications à la LQE et l'adoption du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* (RPRT) en 2003 ont donné une valeur légale aux critères B et C de la Politique. En plus de fixer les VLR pour plusieurs contaminants, il énumère les AID qui sont visées par les articles de la LQE qui concernent ces derniers.

Le RPRT a aussi indirectement un lien avec les mâchefers. Certaines AID visées sont susceptibles de produire des MC dans leurs procédés, comme les AID « Fabrication d'autres produits du pétrole et du charbon » ou encore « Activités de soutien au transport ferroviaire ».

### **2.1.4 Règlement sur l'élimination et l'incinération des matières résiduelles**

Depuis 2006, le REIMR encadre les activités d'élimination de matières résiduelles pour que celles-ci s'exercent dans le respect de la sécurité des personnes et de la protection de l'environnement. Il fixe les conditions d'opération des sites d'enfouissement, qui doivent opérer en mode enfouissement technique (LET), et des incinérateurs.

Ce règlement ne concerne pas les MC, mais concerne directement les MIOM puisque l'article 8 du REIMR indique que les résidus provenant des incinérateurs de déchets, y compris les cendres de grilles (mâchefers), ne peuvent être enfouis que dans des LET.



### **2.1.5 Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés**

Le *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* (RESC) est entré en vigueur en 2001. Il a été adopté pour encadrer l'enfouissement de sols fortement contaminés. Ce règlement introduit une nouvelle VLR, communément appelé critère D, pour les mêmes contaminants que ceux qui sont visés par les critères A, B et C. Un sol qui présente des contaminants en concentration supérieure au critère D ne peut être enfoui sans traitement préalable, à moins qu'il ait été prouvé qu'il n'existe pas de traitement pour les types de contaminants présents dans le sol. Le RESC vise à encourager le « développement et la démonstration de technologies de décontamination des sols et à créer un contexte incitatif à la valorisation des sols » (MDDEFP, 2002). Il va sans dire que les coûts d'enfouissement des sols fortement contaminés sont beaucoup plus élevés que ceux des sols faiblement contaminés.

Ce règlement n'a pas vraiment d'impacts sur les mâchefers en tant que tel. Par contre, lorsqu'un sol est contaminé par les HAP et les métaux des mâchefers à des concentrations qui sont supérieures au critère D, ils doivent être enfouis dans un site d'enfouissement sécuritaire de sols contaminés conforme au RESC. Il n'existe actuellement pas de technologies permettant de traiter efficacement les sols contaminés aux HAP et aux métaux.

### **2.1.6 Règlement sur les matières dangereuses**

Le *Règlement sur les matières dangereuses* (RMD) est entré en vigueur en 1997. Il vise à encadrer la gestion des matières dangereuses. Il ne traite pas spécifiquement des mâchefers. Par contre, selon le RMD, une matière lixiviable est une matière qui,

« lorsque mise à l'essai conformément à la méthode prévue dans la Liste des méthodes d'analyses relatives à l'application des règlements découlant de la LQE, produit un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure à l'une des normes indiquées à l'article 3 du RMD. »

De plus, tout objet contenant 3 % ou plus en masse d'huile ou de graisse (article 4 du RMD) est assimilé à une matière dangereuse. Cela fait en sorte que, lorsque des MC ou des MIOM

présentent l'une ou l'autre de ces deux propriétés, ils sont considérés comme une matière dangereuse et doivent être gérés conformément à la LQE et au RMD.

## **2.2 Position du MDDEFP concernant la gestion globale des mâchefers**

De façon générale, le MDDEFP est très ouvert à la mise en valeur des MC et des MIOM. Puisque le contexte réglementaire ne vise pas directement ces matières, le Ministère s'est doté, en 2002, d'un outil encadrant la valorisation de ces derniers, le GVMRIND. La procédure à suivre pour classer la matière dans l'une ou l'autre des trois catégories présentées est décrite plus précisément à la section 4.2. Les options possibles pour la mise en valeur varient en fonction de ces catégories. Le Ministère prévoit faire une mise à jour et une refonte de ce guide pour l'adapter aux nouveaux outils législatifs qui sont entrés en vigueur depuis 2002, mais aussi parce qu'il y a un intérêt grandissant pour la mise en valeur des matières résiduelles inorganiques non dangereuses, comme les résidus miniers, et pour inclure de nouvelles options de valorisation. Dans le cadre de cette refonte à venir, une revue de littérature sur les pratiques en vigueur dans les autres pays sera faite par le Ministère.

Selon Burelle (2013), il n'y a pas de différences ou de discordances dans la façon de gérer les mâchefers entre la direction nationale du MDDEFP, qui établit les guides et les lignes directrices, et certaines directions régionales (surtout Montréal) qui ont à gérer des quantités importantes de mâchefers. Les directions régionales utilisent les guides et les outils en place au Ministère pour travailler dans le même sens que la direction nationale.

Puisque les MC contiennent souvent une certaine quantité de matière organique, par exemple des imbrûlés et des HAP, ils ne sont pas considérés comme une matière résiduelle inorganique et ne peuvent pas être valorisés selon les options prévues dans le GVMRIND. Dans ce dernier, il est en effet spécifié que la procédure ne s'applique pas à des matières résiduelles dont la concentration en carbone organique total (COT) supérieure à 1 %, ni aux matières résiduelles qui ont une concentration en composés organiques supérieure à la limite de quantification en laboratoire. Les MC sont plutôt considérés comme une matière résiduelle non dangereuse. Les options permises de mise en valeur des MC sont présentées à la section 2.3.

Les MIOM, quant à eux, sont considérés comme une matière résiduelle inorganique non dangereuse, à moins que des tests de concentration ou de lixiviation prouvent le contraire. Ils peuvent être valorisés selon les différentes options prévues dans le Guide, en suivant la procédure.

La valorisation des matières résiduelles non dangereuses est très encadrée et le MDDEFP peut même paraître sévère dans ses exigences. Cela s'explique par le fait que le Ministère poursuit une démarche de développement durable et applique les principes de précaution et d'innocuité environnementale des matériaux en fonction des usages.

Globalement, le Ministère ne considère pas les MC et les MIOM comme des matières résiduelles dangereuses. Cependant, si des tests prévus au certificat d'autorisation ou effectués lors de la caractérisation de la matière démontrent qu'elles présentent les caractéristiques d'une matière dangereuse, elles doivent être gérées comme une matière dangereuse en vertu du RMD et ne peuvent être mises en valeur. Il reste que la grande majorité des MIOM et les MC qui ont été testés au fil des années sont non dangereux.

Malgré les efforts mis de l'avant par le Ministère pour encourager la mise en valeur et détourner des sites d'enfouissement différentes matières, le choix de gestion de la matière, soit la mise en valeur ou l'élimination, est laissé à son producteur ou générateur. Autrement dit, c'est la loi du marché qui prédomine. Le Ministère ne prévoit pas, du moins pour le moment, établir une réglementation contraignante pour obliger les propriétaires de ces matières à les valoriser.

« Le principal facteur qui influence le choix du mode de gestion est, sans contredit, le prix par tonne de la matière résiduelle à gérer. Par conséquent, si la valorisation s'avère économiquement rentable, les industries seront intéressées par cette avenue » (ministère de l'Environnement, 2002).

Selon Burelle (2013), pour augmenter la quantité de matières résiduelles non dangereuses valorisées, il faut attendre que des incitatifs favorisant la mise en valeur se présentent. Ceux-ci pourraient être, par exemple, l'augmentation des redevances à l'élimination, les subventions, les programmes spécifiques, venant du MDDEFP ou d'autres organismes comme Recyc-Québec.

Globalement, la valorisation des matières résiduelles non dangereuses augmente progressivement depuis plusieurs années et continuera d'augmenter, de pair avec la difficulté d'ouvrir de nouveaux sites d'enfouissement et les coûts reliés à l'enfouissement.

### **2.3 Position du MDDEFP concernant la mise en valeur**

Malgré le fait que les MC ne peuvent pas être inclus dans le processus d'évaluation du GVMRIND, puisqu'ils contiennent des composés organiques, le Ministère ne ferme pas toutes les portes à la mise en valeur. Une des seules options possibles est la réutilisation comme enrobé bitumineux, puisque les MC seront encapsulés. Par contre, il faut que les concentrations des composés organiques dans les MC soient semblables à ce qu'on retrouve dans ces enrobés, en plus de s'assurer que l'incorporation des MC aux enrobés n'amène pas d'autres problématiques. C'est le principe de précaution qui s'applique ici, par la démonstration de l'innocuité environnementale du matériau produit.

Une autre option est aussi possible, mais en vertu d'un autre outil. Lors d'une réhabilitation de site par analyse de risque, les MC peuvent être indirectement mis en valeur par leur maintien en place, par leur utilisation comme matériel de remblai ou par leur utilisation en sous-couche de fondation dans la construction des routes ou sous un stationnement, à la condition que ces utilisations se déroulent sur le site où ils étaient déjà en dépôt historique. Ceci équivaut à l'approche de réhabilitation par analyse de risque déjà prévue dans la LQE et encadrée dans la PPRT.

Les outils d'encadrement étant déjà en place, le Ministère est très ouvert à l'idée de valoriser les MIOM. Par contre, comme ceux-ci sont produits uniquement par la Ville de Québec et dans une moindre mesure, par la Ville de Lévis; la volonté de valoriser les MIOM doit venir de ces deux administrations. Il semblerait que pour l'instant, la Ville de Québec ait d'autres projets sur la table, notamment la biométhanisation des résidus de table et des boues municipales. Le MDDEFP attend que les villes de Québec et de Lévis mettent de l'avant un projet de mise en valeur des MIOM.

D'autres entités pourraient aussi vouloir valoriser les MIOM de la Ville de Québec, par exemple des producteurs de béton, pour incorporer ces mâchefers à leurs produits, mais la démarche d'obtention d'un CA et de processus d'évaluation selon la procédure du Guide, en plus de prouver l'innocuité environnementale de leur produit pourrait en décourager certains, surtout si l'utilisation d'agrégats naturels est plus économique que l'utilisation des MIOM.

### **3. GESTION DES MÂCHEFERS DANS D'AUTRES JURIDICTIONS**

Cette section présente les modes de gestion (incluant le cadre réglementaire et les options de valorisation possible) des MC et des MIOM à l'intérieur de certaines provinces canadiennes, aux États-Unis et chez quelques-uns des pays européens qui appliquent inégalement le cadre réglementaire de l'Union européenne sur la gestion des mâchefers.

#### **3.1 Dans les provinces canadiennes**

La gestion des mâchefers est présentée pour deux provinces canadiennes, l'Alberta et l'Ontario, puisque ce sont celles qui en génèrent davantage ; ils doivent gérer des quantités importantes de RCC et de MIOM.

Les autres provinces génèrent beaucoup moins de mâchefers. Par exemple, la Colombie-Britannique opère un seul incinérateur d'ordures ménagères et le Nouveau-Brunswick a seulement deux centrales thermiques au charbon, de sorte que les tonnages de mâchefers sont faibles. De plus, il apparaît que la majorité des MC et des MIOM produits dans ces autres provinces sont enfouis.

##### **3.1.1 Alberta**

L'Alberta génère près de 75 % de son électricité par la combustion du charbon (Weis, 2012). Elle doit gérer des quantités importantes de RCC. Le gouvernement de l'Alberta indique qu'il est primordial de bien définir et caractériser les mâchefers de charbon pour être en mesure d'en faire une gestion adéquate. Cette caractérisation albertaine inclut le pH, les métaux, les métaux lixiviables, la conductivité électrique et les propriétés physiques des mâchefers. Au sens de la loi, les MC ne sont pas considérés comme une matière dangereuse (Gouvernement de l'Alberta, 2012).

Les options de gestion acceptées pour les mâchefers sont les suivantes : disposition dans des puits de mine à proximité des centrales, enfouissement et mise en valeur. Les mâchefers peuvent être réutilisés sous forme de stabilisant pour les sols, comme amendement pour les

sols, comme agrégat, incorporé au béton ou comme matériau de remblais ou de remplissage (Gouvernement de l'Alberta, 2012).

### **3.1.2 Ontario**

Jusqu'à tout récemment, l'Ontario avait quatre centrales thermiques au charbon, mais le gouvernement s'est engagé à les fermer les unes après les autres d'ici 2014 et à les remplacer par une source d'énergie plus propre. Environ la moitié des mâchefers ont été utilisés dans l'industrie de la construction, pour la production de béton et comme substitut au gravier alors que l'autre moitié a été enfouie (CCME, 2009).

En ce qui concerne les MIOM, ils sont considérés comme une matière non dangereuse. Ceux produits par l'incinérateur d'ordures ménagères de Brampton sont envoyés au site d'enfouissement le plus près. Quant à l'incinérateur de Durham-York, les cendres volantes sont réutilisées avec du béton et les mâchefers sont entreposés hors site. Des discussions ont récemment eu lieu entre Environnement Canada, une compagnie de production de ciment et le gestionnaire de cet incinérateur, afin d'identifier quelle forme de mise en valeur de ces mâchefers pourrait être faite (O'Meara, 2012).

### **3.2 États-Unis**

Les États-Unis sont de grands utilisateurs industriels de charbon, notamment près de 50 % de l'électricité y est produite par la combustion du charbon. Actuellement, environ 136 millions de tonnes de RCC sont produites par année. De ce nombre, 37 % sont réutilisés de différentes façons, 34 % sont enfouis, 22 % sont disposés dans des étangs à cendres et 7 % sont disposés dans des puits de mine de charbon (Devlin, 2010). Le pourcentage de réutilisation augmente légèrement et de façon constante depuis 30 ans.

À ce jour, la gestion des mâchefers ne fait pas l'objet d'une réglementation spécifique. Les RCC sont tous considérés comme une matière résiduelle non dangereuse et leur gestion est faite selon les principes de libre marché. Par contre, l'adoption de normes nationales pour gérer les RCC est devenue un débat environnemental depuis qu'un mur de retenue d'un étang à cendres a cédé et que son contenu déversé ait inondé plus de 300 acres de terre, puis contaminé deux

rivières en 2008 au Tennessee. Depuis, l'USEPA propose deux modes de gestion des mâchefers pour soumettre leur disposition et leur entreposage à des normes spécifiques ; soit les gérer comme déchets spéciaux ou soit comme des déchets non dangereux. Dans les deux cas, ils seraient gérés selon le *Resource Conservation and Recovery Act*, la principale loi fédérale concernant la gestion des matières résiduelles. Actuellement, cette proposition est en période de consultation publique (USEPA, 2012).

Certains États permettent d'utiliser les MC comme matériel de recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement. La majorité des MC servent cependant dans la production de béton et d'asphalte, mais les MC peuvent aussi être réutilisés comme sous-couche dans la construction de routes, comme additif pour le revêtement des toitures, comme stabilisant pour les sols, comme matériel de remblai et de remplissage, comme matériel de sablage au jet, comme amendement pour les sols en agriculture pour ajuster le pH et comme abrasif pour les routes pendant l'hiver. D'autres études testent les propriétés des matériaux fabriqués avec une certaine proportion de mâchefers. Par exemple, des briques de ciment de très bonne qualité peuvent être produites avec des cendres volantes et des mâchefers, tout en contribuant au développement durable (Naganathan, 2011).

Comme dans le cas des MC, les MIOM ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique aux États-Unis. Leur élimination ou leur mise en valeur est donc laissée aux gestionnaires d'incinérateurs qui peuvent développer des partenariats avec différents organismes. Cependant, de plus en plus d'intervenants semblent s'intéresser à la valorisation des MIOM. Plusieurs recherches ont d'ailleurs eu lieu pour comparer les propriétés des matériaux traditionnellement utilisés (ciment, céramique, asphalte, béton) avec des matériaux comportant un certain pourcentage de MIOM. Ce qui ressort de ces études est que l'utilisation de mâchefers en faible pourcentage dans la production de matériaux n'affecte ni négativement ni positivement leurs propriétés. Par exemple, selon Xuea (2009), l'asphalte comportant de 8 à 16 % de MIOM a des propriétés équivalentes à l'asphalte conventionnel. Selon Keppert (2012), la qualité du béton n'est pas affectée si ce dernier contient jusqu'à 10 % de MIOM qui remplace en partie le sable. De plus, le béton contenant des MIOM a une durabilité équivalente à un béton traditionnel.



Environ 10 % des MIOM sont valorisés comme matériel de recouvrement journalier des sites d'enfouissement ou bien dans la construction de routes. Par contre, le mode de gestion des MIOM le plus commun est l'enfouissement (USEPA, 2012). Il reste que les effets environnementaux à long terme de la valorisation des MIOM n'ont pas encore été déterminés (Clarke, 2002).

### **3.3 Europe**

Pour uniformiser les approches législatives, l'Union européenne (UE) édicte des directives qui s'adressent à ses États membres. Chaque État dispose par la suite d'un temps convenu pour traduire cette directive dans sa législation nationale.

La *Directive 2008/98/CE* sur les déchets établit un cadre juridique pour le traitement des déchets. Elle vise à contrôler tout le cycle du déchet, de la production à l'élimination et à briser le rapport actuel existant entre croissance économique et production accrue de déchets en mettant l'accent sur la mise en valeur et le recyclage. Elle établit les concepts et les définitions relatives au recyclage, à la récupération et aux déchets. Cette directive explique quand un déchet cesse d'être considéré comme un déchet et devient un matériau brut utilisable et comment distinguer un déchet d'un sous-produit (Europa, 2009).

Dans le but d'uniformiser la gestion des produits chimiques à travers l'Europe, cette dernière a mis en place un cadre réglementaire de gestion des substances chimiques (*Règlement CE1907/2006*). Le *système intégré d'enregistrement, d'évaluation, d'autorisation et de restrictions des substances chimiques* (REACH) a été adopté en 2006. Son objectif principal est d'améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement (Europa, 2009). Avant toute commercialisation, les entreprises qui fabriquent et importent des substances chimiques doivent évaluer les risques résultant de leur utilisation, consigner ceux-ci sur une fiche signalétique de communication de l'information et prendre les mesures nécessaires pour gérer tout risque identifié (Lindon, 2009).

Les matières transformées en déchets, gérées comme tel par incinération ou enfouissement, sont exclues du REACH. Par contre, dans le cas de l'utilisation des sous-produits tirés de celles-ci

et de la réutilisation de déchets ultimes dans de nouveaux procédés, le REACH s'applique à partir du point où ces matériaux cessent d'être un déchet et deviennent offerts sur le marché (Europa, 2009).

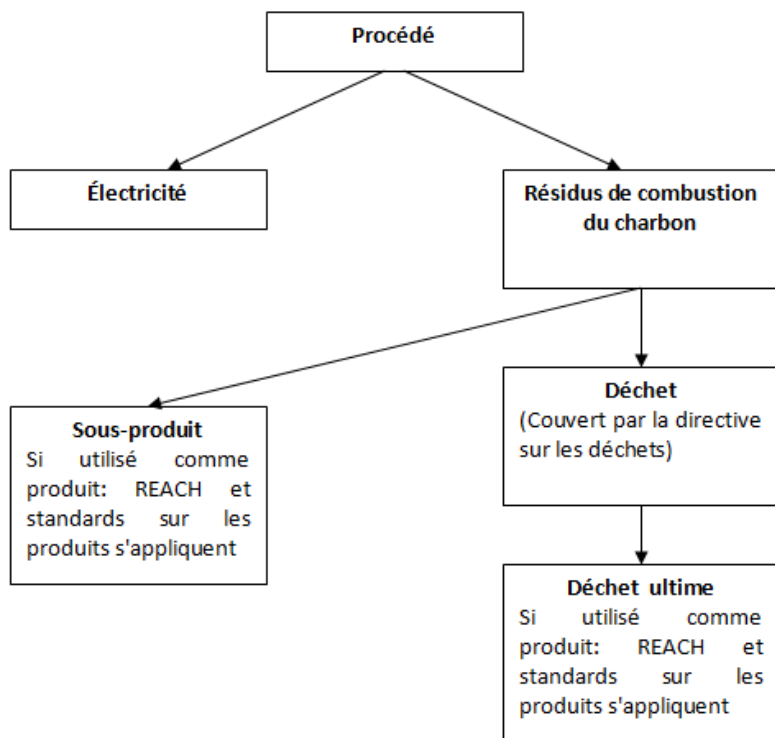
Il existe également des standards sur les produits qui doivent être respectés lorsque les mâchefers sont incorporés dans divers matériaux. La *Directive 89/106/CEE* vise à assurer la libre circulation de l'ensemble des produits de construction dans l'UE et que ces derniers répondent à des exigences en matière de résistance mécanique, de santé et d'environnement, d'économie d'énergie et d'isolation thermique, etc. De plus, des standards du Comité européen de normalisation (CEN) existent pour, entre autres, les produits de construction concernant, par exemple, l'utilisation des RCC dans la fabrication de béton.

La *Directive sur les déchets*, le REACH et les standards sur les produits encadrent la gestion des mâchefers dans l'UE. Cependant ces mesures réglementaires sont imprécises et trop générales, ce qui permet à certains pays de la flexibilité dans leur interprétation (Lindon, 2009). Les débats sur la sortie du statut de déchets sont encore d'actualité.

### **3.3.1 Mâchefers de charbon**

Les MC ne sont pas directement réglementés dans l'UE, mais leur gestion est encadrée par la *Directive 2008/98/CE*, par le REACH et par les standards sur les produits de construction. En 2007, environ 100 millions de tonnes de RCC ont été produites en Europe (Feuerborn, 2011). Les RCC eux-mêmes sont considérés comme déchets et soumis à la *Directive sur les déchets* si la voie de l'élimination est retenue. Par contre, si une utilisation en est faite, les RCC sont soumis au REACH (Feuerborn, 2011).

Les MC doivent respecter certaines normes et être considérés comme déchets non dangereux pour être mis en valeur de la sorte. La mise en valeur des RCC est influencée par la législation environnementale et par les standards sur les produits de construction. La figure 1.1 présente la hiérarchie de la législation européenne que chaque pays membre de l'UE doit appliquer relativement à la gestion des RCC.



**Figure 3.1 : Schéma de classification des RCC selon la législation européenne** (inspiré de Eurelectric, 2011).

### 3.3.2 Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères

La législation de l'UE qui touche à la gestion des MIOM ne se restreint pas à la *Directive 2008/98/CE* sur les déchets. La *Directive 2000/76/CE* sur l'incinération des déchets impose aux pays membres de l'Union européenne un cadre réglementaire strict ayant pour objectif de limiter, dans la mesure du possible, les effets négatifs de l'incinération des déchets sur l'environnement (EMSE, 2001). Elle mentionne ceci au sujet des RIOM :

« Les installations d'incinération des déchets sont exploitées de manière à atteindre un niveau d'incinération tel que la teneur en carbone organique total des cendres et mâchefers soit inférieure à 3 % du poids sec de ces matériaux ou que leur perte au feu soit inférieure à 5 % de ce poids sec. Des techniques appropriées de prétraitement des déchets sont utilisées, si nécessaire » (*Directive 2000/76/CE*).

### 3.4 France

Environ 4 % de l'électricité est générée par la combustion du charbon en France. Par conséquent, la quantité de mâchefers à gérer est inférieure à celle observée d'autres pays. Elle doit tout de même gérer annuellement entre 400 000 et 800 000 tonnes de MC produits, en plus de neuf millions de tonnes de MC d'anciens dépôts dans des étangs à cendres. Cependant, les stocks diminuent puisqu'un marché s'est créé grâce à certains fabricants de béton qui incorporent les MC dans leurs produits (Pignet, 2009). Selon Joël Brogat, délégué technique Environnement et patrimoine chez Énergie de France, « Le taux de valorisation des cendres de charbon est actuellement supérieur à 100 % » (Pignet, 2009). Les MC peuvent aussi être mis dans des étangs à cendres ou utilisés comme sous-couche dans la construction des routes (Autorité de sûreté nucléaire, 2009).

Les MIOM font l'objet d'une réglementation française spécifique et d'une gestion bien encadrée. En 2010, près de 14,1 millions de tonnes de déchets ménagers ont été incinérées, produisant environ trois millions de tonnes de mâchefers (AMORCE, 2012). Depuis 2012, les possibilités de mise en valeur des MIOM sont encadrées par un arrêté ministériel. Ce dernier fixe des critères à respecter pour permettre leur réutilisation. Ces critères sont liés à la nature de l'usage routier, à la lixiviation des mâchefers, à leur teneur en éléments polluants et à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier (Radisson, 2011). Avant que cet arrêté ne soit adopté, la gestion des MIOM était encadrée par une circulaire datant de 1994 (EMSE, 2001). Environ 80 % des MIOM sont valorisés et le reste est envoyé en installation de stockage de déchets non dangereux lorsqu'ils ne sont pas valorisables. Les mâchefers sont classés en trois catégories qui prennent en compte certains paramètres. Cette classification est présentée au tableau 3.1. (EMSE, 2001).

**Tableau 3.1 : Classification des MIOM en France (inspiré de EMSE, 2001)**

Catégorie de MIOM	Paramètres								
	Concentration en imbrulés et fraction soluble		Concentration en divers composés (mg/kg)						
	Taux d'imbrulés (%)	Fraction soluble (%)	Hg	Pb	Cd	As	Cr <sup>VI</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	COT
Catégorie V	< 5	< 5	< 0,2	< 10	< 1	< 2	< 1,5	< 10 000	< 2 000
Catégorie M	< 5	< 10	< 0,4	< 50	< 2	< 4	< 3	< 15 000	< 2 000
Catégorie S	> 5	> 10	> 0,4	> 50	> 2	> 4	> 3	> 15 000	> 2 000

Les trois catégories sont nommées V, M et S, en fonction de leurs impacts potentiels sur la santé et l'environnement. Les mâchefers de catégorie V peuvent être mis en valeur dans la construction des routes (remblais, couche de forme et couche de fondation) ou comme remblais de friches industrielles (AMORCE, 2012). La catégorie M des mâchefers intermédiaires ont trois débouchés possibles : l'élimination dans une unité de stockage des déchets ménagers, l'envoi vers un prétraitement ou vers une simple maturation en vue d'une mise en valeur ultérieure. La valorisation est seulement possible si la qualité des MIOM de catégorie M rejoint celle de la catégorie V. Les MIOM de catégorie S, quant à eux, sont à forte fraction lixiviable; ils ne peuvent qu'être éliminés en installation de stockage appropriée (EMSE, 2001).

### 3.5 Royaume-Uni

Selon Lindon (2009), les mesures réglementaires mises en place par l'UE sont défectueuses parce qu'elles ne définissent pas clairement les termes clés tels produit, déchet et déchet ultime. Le Royaume-Uni respectant à la lettre la législation, ces mesures ont eu des effets négatifs sur les ventes de mâchefers, marché pourtant bien établi depuis longtemps en raison de l'utilisation importante du charbon que ce pays fait depuis deux siècles. C'est dans ce contexte réglementaire compliqué et d'une bureaucratie européenne que l'Agence

environnementale de l'Irlande du Nord et l'Agence environnementale d'Angleterre et du Pays de Galles ont adopté un Protocole de qualité pour définir clairement la terminologie et établir les normes qui permettent la réutilisation des mâchefers tout en protégeant la santé humaine et l'environnement.

Bien qu'ils puissent être enfouis ou entreposés en piles ou dans des étangs, les MC sont principalement utilisés dans l'industrie de production de blocs de béton, notamment pour les avantages qu'ils apportent au béton, par exemple, la réduction du poids de ce dernier (Cresswell, 2007) et comme remblais ou sous-couche dans la construction de routes. Selon cette même source, l'utilisation de MC dans les blocs de béton est devenue tellement importante que les volumes de MC produits par certaines centrales ne sont pas suffisants pour répondre à cette demande. Ces utilisations sont encadrées par le Protocole de qualité. Dans l'ensemble du Royaume-Uni, il semblerait que les efforts de mise en valeur soient davantage dirigés vers les cendres volantes. En effet, ces dernières représentent un plus grand volume et elles peuvent être utilisées dans une plus grande variété de produits.

Concernant les MIOM, l'Angleterre et le Pays de Galles ont adopté, en 2002, puis l'Écosse, en 2003, une série de règles qui s'inscrivent dans la *Directive européenne sur les déchets* et qui visent à encadrer la gestion des RIOM. Ces règles indiquent, entre autres, que des analyses sur les propriétés chimiques et physiques des RIOM doivent être réalisées avant que ne soit déterminée leur option de mise en valeur ou d'élimination. Par exemple, les MIOM doivent avoir une teneur en COT qui ne dépasse pas 3 % de leur poids et une quantité inférieure à 5 % d'imbrulés. De plus, ils doivent être entreposés et transportés selon des règles strictes. Pour aider les différents intervenants à respecter la législation, les Agences environnementales ont produit un *guide technique sur l'incinération des ordures ménagères* (DEFRA, 2007).

Les MIOM peuvent être utilisés comme agrégat dans la production de béton ou d'asphalte, comme matériel de remblai ou de sous-couche dans la construction de routes, ou bien incorporé dans certains matériaux de construction, par exemple le gypse. Les normes de construction et de fabrication de produits, en plus des normes environnementales, doivent être respectées (Cresswell, 2007).

### **3.6 Danemark**

Dans sa stratégie sur les déchets de 2005, le gouvernement danois s'est doté d'un objectif de valorisation des RIOM de 85 %. La particularité de ce pays est que la gestion des RIOM et des RCC se font selon les mêmes règles, parce que leurs utilisations et leurs impacts environnementaux sont sensiblement les mêmes. Comme dans le cas de la France, les utilisations possibles de ces résidus se font en fonction de leur classement selon trois catégories. Ces catégories sont définies en fonction de critères de lixiviation et de teneur en COT.

Depuis 1974, les MIOM sont utilisés comme sous-couche dans la construction des routes et comme matériel de remplacement du gravier dans différentes applications. Les provisions de gravier dans ce pays sont en train de diminuer, ce qui favorise l'utilisation de matériaux alternatifs. Cependant, pour protéger l'environnement et la santé humaine de la lixiviation possible des contaminants présents dans les mâchefers, ces derniers doivent être couverts d'une couche imperméable (Ornebjerg, 2007).

### **3.7 Allemagne**

La législation environnementale allemande statue que la mise en valeur des déchets est permise seulement lorsque les impacts environnementaux potentiels sont éliminés. Comme les MIOM peuvent contenir des métaux lourds et avoir de tels impacts, leur mise en valeur est encadrée de façon stricte et restreinte à leur réutilisation dans la construction de routes. Dans le but de respecter la législation en place, ainsi que les normes européennes du CEN, des guides sur la valorisation des MIOM ont été développés. De plus, les états fédérés ou *lands* peuvent aller plus loin que la législation allemande avec leurs propres règles et normes et même empêcher toute mise en valeur des MIOM (Ornebjerg, 2007).

### **3.8 Suisse**

La volonté gouvernementale de ce pays est de protéger l'environnement à long terme. Toute mise en valeur des MIOM est interdite, le gouvernement donne l'argument que l'utilisation de ces derniers dans des matériaux de construction, par exemple, ferait en sorte de remettre le

problème à plus tard. En effet, lorsque ces matériaux devront être démolis, tôt ou tard, les contaminants présents dans les MIOM se retrouveront dans l'environnement. Selon Ornebjerg (2007), cette façon de penser est le résultat d'une grande disponibilité des agrégats naturels tels que le gravier et de leur accessibilité, contrairement à d'autres pays d'Europe. En Suisse, 100 % des ordures ménagères sont incinérés et 100 % des RIOM sont enfouis.

Les tableaux 3.2 et 3.3 font ressortir les points les plus importants de la gestion des MC et des MIOM dans chacune des juridictions étudiées. Ces points concernent le contexte réglementaire, les options de mise en valeur, d'entreposage et d'élimination.



**Tableau 3.2 : Synthèse et points importants des juridictions étudiées en Amérique**

Juridiction	Mâchefers de charbon	Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères
Alberta	Caractérisation exhaustive	N/D
	Considéré comme une matière non dangereuse	
	Élimination : disposition dans puits de mine ou enfouissement, % inconnu	
	Mise en valeur : remblais et remplissage, agrégat (production béton), amendement et stabilisant pour les sols, % inconnu	
Ontario	Élimination : enfouissement, 50 %	Considéré comme une matière non dangereuse, deux incinérateurs actifs
	Mise en valeur : agrégat pour remplacer le gravier, surtout dans la production de béton, 50 %	Élimination : site d'enfouissement (un incinérateur)
		Mise en valeur : mâchefers entreposés (un incinérateur) et en discussion pour les mettre en valeur.
États-Unis	136 millions de tonnes de RCC produites par année	Pas de réglementation spécifique
	Considéré comme une matière non dangereuse	Plusieurs recherches en cours sur l'incorporation des MIOM dans divers produits
	Pas de réglementation spécifique	
	Élimination : disposition dans puits de mine ou enfouissement, 41 %	Élimination : enfouissement, 90 %
	Entreposage : étangs à cendres, 22 %	
	Mise en valeur : recouvrement journalier aux sites d'enfouissement, production de béton et d'asphalte, sous-couche de fondation dans la construction des routes, additif pour revêtement de toitures, amendement et stabilisant pour les sols, remblais et remplissage, matériel de sablage au jet, abrasif pour les routes pendant l'hiver, 37 %	Mise en valeur : recouvrement journalier aux sites d'enfouissement, sous-couche de fondation dans la construction des routes, 10 %

**Tableau 3.3 : Synthèse et points importants des juridictions étudiées en Europe**

Juridiction	Mâchefers de charbon	Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères
Union européenne	Directive 2008/98/CE : établit un cadre juridique pour le traitement des déchets	
	Cadre réglementaire de gestion des substances chimiques : REACH (Règlement CE1907/2006).	
	Directive 89/106/CEE : exigences techniques et environnementales des produits de construction	
	Standards du Comité européen de normalisation pour certains produits de construction	
	Gestion par élimination: applique la Directive 2008/98/CE	Directive 2000/76/CE sur l'incinération des déchets pour limiter les effets environnementaux négatifs de l'incinération
Gestion par mise en valeur : applique le REACH et standards sur produits		
France	Élimination : serait de 0 %	Réglementation spécifique
	Entreposage : étangs à cendres (% inconnu)	MIOM sont classés dans trois catégories (V, M et S) selon certains critères
	Mise en valeur : incorporation dans le béton, sous-couche de fondation dans la construction des routes (serait de 100 %)	Catégories V : mise en valeur dans construction des routes (sous-couche de fondation, couche de forme, remblais), remblais de friches industrielles
		Catégorie M : élimination, prétraitement ou maturation (mise en valeur possible)
		Catégorie S : élimination
		Élimination : installations de stockage, 20 %
Mise en valeur : 80 %		
Royaume-Uni	Cadre réglementaire adopté pour établir les normes permettant la mise en valeur des mâchefers	
	Élimination : enfouissement, % inconnu	Caractérisation exhaustive
	Entreposage : mis en piles ou étangs à cendres, % inconnu	Élimination : enfouissement, % inconnu
		Mise en valeur : agrégat (production de béton ou d'asphalte), construction des routes (sous-couche de fondation et remblais), incorporation dans divers matériaux de construction (ex ; gypse), % inconnu
Danemark	Gestion des RIOM et des RCC se font selon les mêmes règles, objectif gouvernemental de mise en valeur de 85 %. Trois catégories de classement en fonction de certains critères.	
	N/D	Mise en valeur : sous-couche dans la construction des routes et substitut au gravier pour l'incorporation dans divers produits
Allemagne	Mise en valeur permise seulement lorsque les impacts environnementaux potentiels sont éliminés	
	États fédérés peuvent aller plus loin que la législation du pays et interdire la mise en valeur	
	N/D	Mise en valeur : construction des routes
Suisse	Volonté gouvernementale de protéger l'environnement et la santé humaine à long terme	
	N/D	Aucune mise en valeur permise
		Élimination : enfouissement, 100 %

## **4. ANALYSE COMPARATIVE DES MODES DE GESTION**

Cette section présente d'abord la façon dont les mâchefers sont actuellement gérés au Québec, ainsi que la procédure d'évaluation du GVMRIND. Ensuite, une comparaison entre le mode de gestion québécois et le mode de gestion des autres pays étudiés au chapitre précédent est faite. Cette comparaison porte sur le contexte règlementaire et les outils d'encadrement, les options de mise en valeur et les raisons qui peuvent expliquer les différences observées.

### **4.1 Gestion actuelle au Québec**

Concernant les MC, le MDDEFP ne dispose pas d'inventaire sur les sources actuelles au Québec. La quantité de MC générés par des usines n'est pas connue. Ce peu d'informations au sujet des MC vient de ce que les usines tentent de s'affranchir de ce combustible pour notamment, diminuer leurs émissions de GES. L'utilisation de ce combustible fossile est en diminution constante. Les options de gestion actuelles au Québec sont l'entreposage, la mise en valeur et l'enfouissement. Par contre, la quantité de MC entreposés, valorisés ou enfouis n'est pas connu, tant pour les quantités historiques que pour les quantités produites annuellement. Il semblerait que la majorité des MC sont enfouis.

Actuellement, les MIOM sont tous enfouis. Dans les années 1990, la Ville de Québec a procédé à une caractérisation et divers essais sur ses MIOM dans le but de les valoriser en couche de sous-fondation dans la construction des routes. L'hétérogénéité des ordures ménagères étant très grande et fluctuante dans le temps, combinée à des matières comme des piles qui contiennent des métaux lourds, ont fait en sorte que des niveaux en plomb trop élevés ont été observés, ainsi qu'une quantité d'imbrulés trop élevée, fermant ainsi la porte à toute mise en valeur (Burelle, 2013). De plus, la responsabilité élargie des producteurs ne s'appliquant pas encore aux piles à l'époque, a fait en sorte que davantage de piles et autres résidus domestiques dangereux rejoignaient les ordures avant incinération.

La Ville de Québec n'a pas fait de nouvelle caractérisation et essais sur ses mâchefers. Par contre, selon le Ministère, les MIOM sont très probablement d'une meilleure qualité aujourd'hui que lorsque des essais réalisés dans les années 1990. Peut-être pourraient-ils être mis en valeur maintenant, mais ils devraient être caractérisés selon le descriptif du GVMRIND.

L'intérêt semble faible pour des projets de recherche sur la mise en valeur des mâchefers ou leur utilisation comme matériau de substitution. Seulement quelques projets de recherche de mise en valeur de différentes matières résiduelles ont été réalisés dans les dernières années, par exemple la recherche conduite par l'Université de Sherbrooke sur la réutilisation du verre brisé dans la construction des routes en sous-couche de fondation (Perreault, 2007), mais rien qui ne concerne les mâchefers. C'est peut-être la grande disponibilité des agrégats naturels et la faible quantité de mâchefers produits au Québec qui expliquent cette réticence à développer des produits incorporant une certaine quantité de mâchefers.

Actuellement, au Québec et par année, il y aurait plus ou moins un million de tonnes de matières résiduelles inorganiques non dangereuses de différents types valorisées et ainsi détournées des sites d'enfouissement (Burelle, 2013). Par contre, la quantité de mâchefers valorisés n'est pas connue.

#### **4.1.1 Procédure du *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses***

Lorsque la mise en valeur est le mode de gestion retenue par le producteur d'une matière résiduelle inorganique non dangereuse, ce dernier doit utiliser la procédure du GVMRIND pour classer sa matière dans l'une ou l'autre des trois catégories qui permettent différentes utilisations, présentées au tableau 4.1.

« L'objectif de l'évaluation de la qualité des matières résiduelles est d'obtenir une connaissance adéquate de certains des paramètres physico-chimiques qui les composent et de connaître la façon dont elles réagissent à différentes conditions simulées en laboratoire, afin de faciliter la prise de décision quant aux usages possibles » (ministère de l'Environnement, 2002).

Tel que mentionné à la section 2.2, la procédure d'évaluation développée par le Ministère en 2002 et présentée dans le GVMRIND ne s'applique pas aux matières résiduelles qui ont l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes : une matière considérée comme dangereuse au sens du RMD ; une matière contaminée par le COT ou par des composés organiques (plus de 1 % de COT ou une concentration d'un ou plusieurs composés organiques supérieure aux limites de

quantification) ; une matière qui présente un potentiel de génération d'acide positif. La procédure s'applique uniquement pour les matières résiduelles inorganiques non dangereuses.

« La présence de matières organiques ne constitue pas en soi une problématique environnementale, mais il y a lieu d'en tenir compte afin d'éviter une biodégradation de telles matières pouvant nuire à la pérennité de l'ouvrage, biodégradation qui entraînerait, elle, une problématique environnementale » (ministère de l'Environnement, 2002).

Dans le GVMRIND, la procédure est scindée en quatre sous-sections, comportant chacune une figure pour faciliter sa compréhension. Elle consiste en trois étapes distinctives. La figure 4.1 schématise et résume la procédure d'évaluation du GVMRIND qui a été développée par le ministère de l'Environnement en 2002.

La première étape consiste à s'assurer que la matière est bien une matière résiduelle inorganique non dangereuse et qu'elle peut être classée. Lorsqu'une matière est contaminée par des composés organiques, la seule utilisation possible, tel que mentionné à la section 2.3 est un enrobé de bitume. De plus, un contenu en COT supérieur à 1 % a été retenu comme élément déclencheur pour des études cas par cas afin de réintégrer la procédure. Ces études visent à s'assurer qu'il n'y aura pas une dégradation dans les ouvrages et pourraient impliquer l'utilisation de planches d'essai permettant de comparer différents matériaux (Burelle, 2013).

Deuxièmement, les critères génériques de contenu en mg/kg pour les métaux et métalloïdes de la PPRT, par analogie aux sols, entrent en jeu et sont utilisés comme discriminants. Lorsque l'ensemble des paramètres mesurés est inférieur aux critères A de la Politique, la matière sera classée en catégorie I. Une matière de granulométrie inférieure à 2,5 mm (similaire à celle d'un sol) qui présente des teneurs en métaux ou métalloïdes supérieures au critère C de la PPRT sera classée directement dans la catégorie III (ministère de l'Environnement, 2002).

La troisième étape concerne les matières de granulométrie supérieure à 2,5 mm (peu importe le contenu en mg/kg) et celles de granulométrie inférieure à 2,5 mm qui présentent un contenu en mg/kg inférieur au critère C de la PPRT pour l'ensemble des paramètres. Cette étape se concentre sur la mobilité des contaminants présents dans la matière résiduelle. Les

contaminants susceptibles de migrer dans les sols et d'en augmenter la teneur, ou de migrer vers les eaux souterraines, seront pris en compte. La mobilité sera évaluée à l'aide de la capacité de neutralisation et de trois tests de lixiviation (lixiviation en milieu acide acétique, lixiviation à l'eau et lixiviation simulant les pluies acides). Le test de lixiviation en milieu acide acétique sera soit le test réglementaire pour les matières dangereuses ou le test mis au point pour la valorisation, dépendamment de la capacité de neutralisation (capacité tampon) de la matière (ministère de l'Environnement, 2002). Ces essais simulent différentes conditions, dont certaines qui sont extrêmes et qui permettront de simuler, entre autres, le vieillissement de la matière. Ils doivent tous être réalisés par un laboratoire accrédité par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Les résultats obtenus devront être inférieurs à la norme de potabilité qu'on trouve dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, ou bien inférieurs de 10 fois à la norme de potabilité dans le cas du test mis au point pour la valorisation et du test de lixiviation simulant les pluies acides.

Une matière qui échoue l'un de ces essais sera classée directement dans la catégorie III. Lors de la réussite des essais, la matière sera classée dans la catégorie I si elle est d'une granulométrie supérieure à 2,5 mm, ou dans la catégorie II si elle est d'une granulométrie inférieure à 2,5 mm (ministère de l'Environnement, 2002).

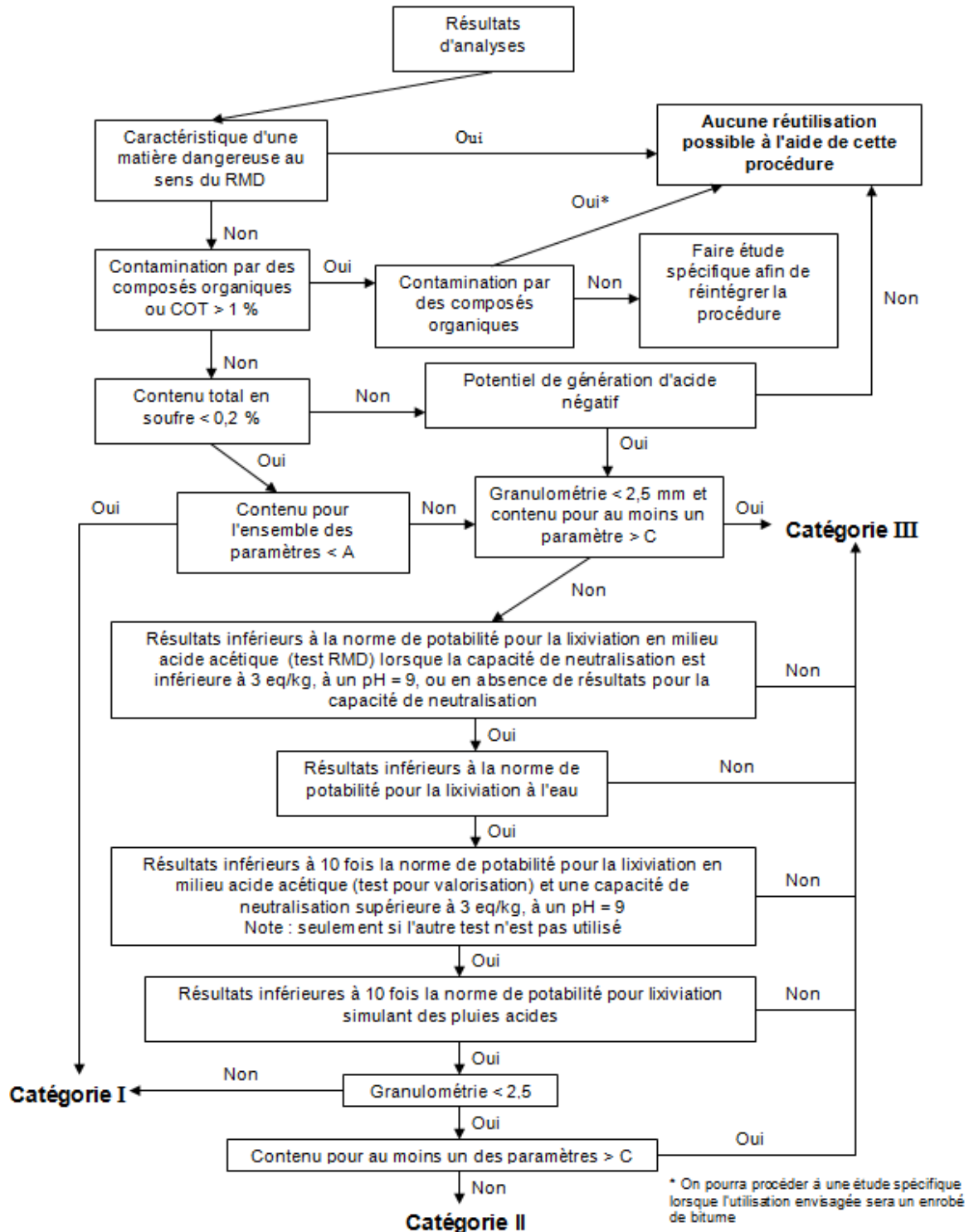


Figure 4.1 : Procédure d'évaluation du GVMRIND (Inspiré du GVMRIND, ministère de l'Environnement, 2002).

En suivant cette procédure, il sera possible de classer une matière résiduelle dans la catégorie I, II ou III. Les utilisations possibles, ou options de mise en valeur des matières en fonction des trois catégories, sont présentées au tableau 4.1.



**Tableau 4.1 : Utilisations possibles des matériaux inorganiques résiduels selon les catégories**  
(inspiré du GVMRIND, ministère de l'Environnement, 2002).

Utilisation	Catégorie de matériaux		
	I	II	III
<b>1. Construction ou réparation de routes et de rues</b>			
Sous-fondation	Oui	Oui	
Fondation – routes asphaltées	Oui	Oui	
Fondation – routes non asphaltées	Oui	Oui	
Accotement asphalté	Oui	Oui	
Accotement non asphalté	Oui	Oui	
Emprunt pour remblai et coussin	Oui	Oui	
Couche filtrante	Oui	Oui	
Couche anticontaminante	Oui	Oui	
Criblure	Oui	Oui	
Filler minéral	Oui	Oui	Oui
Traitement de surface	Oui	Oui	Oui
Enrobés à chaud	Oui	Oui	Oui
Enrobés à froid	Oui	Oui	Oui
Granulats pour coulis de scellement	Oui	Oui	Oui
Béton maigre	Oui	Oui	Oui
<b>2. Granulats pour abrasifs d'hiver</b>	Oui		
<b>3. Construction sur des terrains résidentiels</b>	Oui		
Allée pour automobile (restriction : granulométrie > 5 mm)	Oui		
<b>4. Construction sur des terrains commerciaux et industriels</b>	Oui		
<b>5. Construction d'un dépôt à neige</b>	Oui	Oui	
<b>6. Fabrication de béton</b>	Oui	Oui	Oui
<b>7. Matière première dans la fabrication du clinker</b>	Oui	Oui	Oui
<b>8. Matériel de recouvrement journalier de LET</b>	Oui	Oui	Oui
<b>9. Matériel d'infrastructure (routes) pour les LET</b>	Oui	Oui	Oui
<b>10. Matériel de nettoyage (sablage) du béton et de l'acier</b>	Oui	Oui	Oui
<b>11. Ballast de chemin de fer</b>	Oui	Oui	Oui

Pour la catégorie I, l'ensemble des usages recouverts ou non recouverts est permis sans restriction. Pour la catégorie II, les usages qui ne sont pas permis, en comparaison avec la

catégorie I, sont les utilisations non recouvertes comme les abrasifs pour l'hiver et les remblais pour la construction. La catégorie III est constituée de matières résiduelles qui ont échoué certains essais de la troisième étape de la procédure ou de matières qui ont une granulométrie inférieure à 2,5 mm et une concentration en mg/kg, pour au moins un paramètre, supérieure au critère C de la PPRT. Les usages de la catégorie III sont moins nombreux et ne doivent pas être en contact direct avec les sols (ministère de l'Environnement, 2002). Il est tout de même possible de les mettre en valeur dans des usages recouverts (enrobés, fabrication de béton, etc.) et dans les LET comme matériel de recouvrement journalier.

Il est à noter que dans le cas d'une réhabilitation de site par analyse de risque, des mâchefers peuvent être mis en valeur (remblais, remplissage, etc.) sur le site même. Par contre, la mise en valeur des mâchefers par leur maintien sur le site n'est pas une option prévue dans le GVMRIND, mais plutôt prévue dans la LQE et dans la PPRT.

#### **4.2 Comparaison avec les modes de gestion d'autres juridictions**

En comparaison avec les autres provinces canadiennes, il n'y a pas de différences significatives dans le contexte réglementaire et le mode de gestion des mâchefers. Globalement, les MC et les MIOM ne sont pas considérés comme une matière dangereuse et ils doivent être caractérisés avant d'être mis en valeur. Le mode de gestion retenu pour la majorité d'entre eux est l'enfouissement. Les options de mise en valeur sont semblables à celles prévues au Québec. Par contre, l'Alberta permet leur utilisation comme stabilisant ou comme amendement pour les sols, ce que le MDDEFP ne permet pas.

Les États-Unis n'ont pas de réglementation qui vise spécifiquement les mâchefers et ne les considèrent pas comme une matière dangereuse, tout comme le Québec. Puisque ce pays a des quantités très importantes de mâchefers à gérer, de nombreux projets de recherche sont conduits pour évaluer leur composition, leurs propriétés et leur incorporation dans différents produits et matériaux. Il n'est pas nécessaire de suivre une procédure d'évaluation comme celle présentée dans le GVMRIND afin de mettre en valeur les mâchefers. Les mâchefers sont mis en valeur selon une plus grande diversité d'options qu'au Québec. En effet, en plus de l'être selon presque toutes les options prévues dans le GVMRIND, les MC sont mis en valeur dans le revêtement des toitures et comme stabilisant ou amendement pour les sols. Les options de

mise en valeur ne font pas l'objet d'un encadrement strict. Les mâchefers peuvent être mis en valeur de n'importe quelle façon, pourvu qu'ils respectent les normes environnementales en vigueur et les standards sur les produits applicables dans les différents secteurs. La gestion des mâchefers est davantage faite selon le principe du libre marché et est moins encadrée qu'au Québec.

De façon globale, l'Europe encadre davantage la gestion des matières résiduelles que le Québec. En effet, les pays membres de l'UE se sont dotés d'outils réglementaires pour encadrer la gestion des matières résiduelles incluant les MC et les MIOM. Ces outils sont les directives européennes, le REACH et les standards sur les produits, en plus de la législation de chaque État. Les raisons qui pourraient expliquer cet encadrement européen strict sur les matières résiduelles et sur leur détournement des sites d'enfouissement sont la volonté politique de protéger l'environnement et la santé humaine à long terme considérant une densité de population relativement élevée sur un territoire relativement restreint. À l'exception de la partie de la *Directive 2000/76/CE* qui concerne les RIOM, les MC et les MIOM ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique, comme au Québec.

Plus spécifiquement, la France semble réellement engagée dans une démarche de développement durable en détournant les matières résiduelles comme les MC et les MIOM des sites d'enfouissement. Le taux de mise en valeur de ces matières serait respectivement de 100 % et de 80 %, ce qui est bien plus qu'au Québec, où ce taux est inconnu pour les MC et de 0 % pour les MIOM.

La France permet davantage d'options de mise en valeur des MC. Considérant les petits volumes de MC que la France doit gérer, la gestion de ces derniers n'est pas aussi bien encadrée et réglementée que celle des MIOM, dont les volumes sont beaucoup plus importants. La caractérisation des MIOM qui doit être réalisée s'apparente à la procédure d'évaluation du GVMRIND et comme dans ce dernier, les options de mise en valeur sont prévues en fonction de trois catégories. Par contre, ces options sont plus nombreuses au Québec puisqu'en France, il est seulement possible de mettre en valeur les MIOM dans la construction des routes et comme remblais dans les friches industrielles. Globalement, il y a peu de similitudes dans la gestion des

MC et quelques ressemblances (sauf pour le % de mise en valeur) dans la gestion des MIOM entre la France et le Québec.

Tout comme les États-Unis, le Royaume-Uni est dans une situation complètement différente que le Québec. Ce pays utilise le charbon en grande quantité depuis deux siècles et compte tenu de l'étendue restreinte de son territoire, il a fait le choix de détourner des sites d'enfouissement le maximum de matières résiduelles. C'est pourquoi un marché pour les RCC et les MC est bien établi depuis longtemps. Contrairement au Québec, où les MC peuvent seulement être utilisés comme enrobé bitumineux ou bien maintenu sur place dans le cadre d'une réhabilitation de site par analyse de risque, le Royaume-Uni est plus permissif et accepte, voire encourage la mise en valeur des MC dans la production de béton et dans la construction des routes. Ces utilisations sont encadrées dans le Protocole de qualité, qui pourrait s'apparenter au GVMRIND. Par contre, il ne consiste pas en une procédure d'évaluation, mais bien en des conditions et des normes (environnementales, de fabrication de produits, etc.) à respecter dans les différentes options de mise en valeur prévues. De façon générale, il apparaît que ce pays est moins strict que le Québec dans sa façon de gérer les MC. Concernant les MIOM, la seule différence majeure entre le Québec et le Royaume-Uni est que dans ce dernier, des analyses sur leurs propriétés chimiques et physiques doivent être réalisées avant que ne soit déterminé leur mode de gestion (mise en valeur ou élimination), contrairement au Québec où peu importe les résultats de ces analyses, l'enfouissement est le mode de gestion retenu. Ceci est un très bon exemple de la volonté gouvernementale anglaise de réduire la quantité de matières envoyées à l'enfouissement.

Les autres pays étudiés, soit le Danemark, l'Allemagne, l'Italie et la Suisse, ont tous des particularités dans leur mode de gestion des mâchefers qui est assez différent de celui du Québec. Bien que ces pays soient tous membres de l'UE et que leur territoire est relativement petit comparé au Canada ou au Québec, il n'est pas possible de dégager de constats généraux quant aux raisons qui expliquent leur mode de gestion. Le Danemark semble beaucoup plus permissif que le Québec, puisque les MC et les MIOM sont gérés selon les mêmes règles pour atteindre des objectifs gouvernementaux de mise en valeur élevés, alors que la l'Allemagne semble plus sévère et permet la mise en valeur des mâchefers uniquement lorsque les impacts

environnementaux potentiels sont éliminés. La Suisse est encore plus restrictive puisqu'elle empêche complètement toute forme de mise en valeur des MC et des MIOM.

En résumé, le mode de gestion des MC et des MIOM est relativement le même au Québec et dans les autres provinces canadiennes. Le Québec est plus sévère et moins permissif que les États-Unis, la France et le Royaume-Uni et semble appliquer davantage les principes de précaution et d'innocuité environnementale en fonction des usages. Même si le Québec est plus permissif que certains pays européens, en le comparant avec l'ensemble des 27 pays membres de l'UE, ces derniers semblent plus avancés que le Québec en termes d'outils réglementaires visant à assurer la protection de l'environnement et de la santé humaine à long terme, en terme de recherche et de développement dans l'incorporation de différentes matières résiduelles dans différents produits et en terme d'options de mise en valeur des RCC et des RIOM.

## **5. ÉTUDE DE CAS : RÉHABILITATION ENVIRONNEMENTALE DE L'ANCIENNE GARE DE TRIAGE D'OUTREMONT**

Cette section porte sur un projet à Montréal où des quantités considérables de sols contaminés et de MC ont été gérées. Cette section explique comment la gestion des MC se fait concrètement, dans le cadre d'une réhabilitation de site par approche mixte.

### **5.1 Description du projet**

L'Université de Montréal (UdeM) a actuellement trois campus qui sont tous situés à la périphérie du Mont-Royal, principal espace vert de la Ville de Montréal. Depuis plusieurs années, l'UdeM cherche à construire de nouveaux laboratoires, salles de cours et résidences, principalement pour accueillir certaines facultés de sciences. Or, il n'est pas question pour l'UdeM, ni pour la Ville de Montréal de construire ces nouvelles infrastructures aux dépens du parc du Mont-Royal.

Dans ce contexte, l'UdeM acquiert, en 2006, l'ancienne cour de triage d'Outremont de la compagnie Canadien Pacifique (CP). Cette acquisition a pour objectif l'implantation d'un nouveau campus universitaire sur ce site, situé au cœur de Montréal. En plus des nouveaux pavillons universitaires qui verront le jour, le projet prévoit également la construction de résidences étudiantes, de logements dont 30 % seront des logements sociaux ou abordables, de nouveaux ateliers et garages municipaux de la voirie d'Outremont, de places de stationnement souterrain ainsi que des parcs, des espaces verts et des voies favorisant les transports en commun. Des consultations dirigées par l'Office de consultation publique de Montréal ont eu lieu en février et mars 2007 afin de prendre connaissance des préoccupations et recommandations des citoyens. Des modifications ont été apportées au plan d'aménagement du projet en 2008 et en 2009 afin d'en maximiser les retombées communautaires. Les travaux de réhabilitation ont débuté en 2012 et se termineront en 2013. La fin des travaux de voirie et des travaux préparatoires est prévue pour 2015 afin de permettre la construction des premiers pavillons. Il y a huit zones sur le site Outremont, en fonction des différents usages qui y seront faits. L'annexe 1 présente la répartition des différentes zones sur le site.

### **5.1.1 Historique du site Outremont**

Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, le site Outremont était utilisé comme gare de triage et ce, jusque dans les années 2000. Les anciennes locomotives utilisaient du charbon comme source d'énergie. La combustion de ce combustible fossile générait des résidus solides, ou mâchefers. Autrefois, vu les considérations environnementales quasi inexistantes, les mâchefers produits par la combustion du charbon dans les fours des locomotives n'étaient pas gérés. La plupart du temps, ils étaient simplement déversés ou disposés sur le sol, mélangés avec du sol, et/ou utilisés comme remblais.

Plusieurs études de caractérisation ont été réalisées sur le site dans les années 1990 et 2000. Près de 250 forages ont été faits sur l'ensemble du site et plus de 400 échantillons ont été prélevés dans le cadre de ces différentes campagnes d'échantillonnage. Les paramètres analysés sont principalement les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les métaux, les hydrocarbures pétroliers, mais aussi les phénols, les biphényles polychlorés, les composés organiques volatils et le soufre.

### **5.2 Problématique et description générale du site**

La principale problématique est la présence de sols contaminés en HAP et en métaux. Cette contamination provient des matières résiduelles laissées en place suite aux activités historiques pratiquées sur le site Outremont. Ces matières sont principalement constituées de morceaux de charbon imbrûlés, de MC et de cendres. Une autre problématique est la présence d'hydrocarbures pétroliers, sporadiquement répartis sur le site.

De façon générale, le terrain de l'ancienne cour de triage d'Outremont se caractérise par la présence, en surface, d'un remblai hétérogène silto-sableux d'une épaisseur moyenne de 1,5 mètres. Ce remblai est recouvert d'un mince horizon de sol organique ou d'un remblai de pierre concassée. Les matières résiduelles sont présentes en plus ou moins grande abondance à l'intérieur du remblai hétérogène (Genivar, 2009).

Sur une bonne partie du site, les matières résiduelles forment, en proportion de plus de 50 %, des horizons discontinus d'une épaisseur moyenne de 60 cm présents à l'intérieur du remblai

hétérogène. La présence des MC entraîne des concentrations en métaux et en HAP non négligeables dans ce remblai (Genivar, 2009).

De plus, certains secteurs sont contaminés aux hydrocarbures pétroliers. Contrairement aux matières résiduelles (charbon imbrûlé, MC et cendres) présentes sur la presque totalité du site, les secteurs contaminés aux hydrocarbures pétroliers sont localisés et leur contamination a été causée par des déversements ou des fuites de diesel ou d'huile. Ces derniers sont surtout localisés dans les anciens secteurs de maintenance de la machinerie et d'entreposage.

### **5.3 Plan de réhabilitation**

Au début du projet et lors de la rédaction du plan de réhabilitation, en 2009, ce dernier prévoyait que l'analyse de risque couvre environ les deux tiers du site Outremont et que la réhabilitation par excavation couvre la partie restante. L'objectif de cette façon de faire était de n'avoir aucun transport, autant pour transporter les sols et les matières résiduelles hors du site, que pour transporter des sols sur le site. La seule exception aurait été pour les sols contaminés aux hydrocarbures au dessus du critère C et les sols contaminés aux HAP et aux métaux au dessus du critère D. Les sols et les matières résiduelles excavés auraient été réutilisés sur le site, en quasi-totalité (Gauthier, 2013).

Par contre, la Ville de Montréal a fait savoir son désaccord à maintenir des mâchefers sur le site, en plus d'indiquer d'autres contraintes sur la qualité des sols. De plus, l'UdeM prévoyait faire des aménagements souterrains sur le site (tunnels, stationnements, etc.) qui nécessitent beaucoup de travaux d'excavation. C'est dans le contexte des nombreuses contraintes exprimées par Ville de Montréal et l'UdeM que le plan de réhabilitation a été modifié. À cette étape, la réhabilitation par analyse de risque couvre maintenant le tiers du site (surtout pour les endroits où seront construits les futurs pavillons universitaires) et la réhabilitation par excavation, les deux tiers du site (Gauthier, 2013).

Suite à la modification du plan de réhabilitation, les matières résiduelles ont suivi la procédure du GVMRIND du MDDEFP afin de trouver une option de mise en valeur pour éviter leur enfouissement. Elles ont été classées dans la catégorie III.



L'option de mise en valeur retenue pour ces matières est le transport et la mise en remblai sur le site de la cour Turcot, située dans le sud-ouest de la Ville de Montréal. Ce site est une ancienne gare de triage, d'une superficie de plus de 80 hectares et est la propriété du ministère des Transports du Québec (MTQ). La Ville de Montréal veut développer ce site pour y concentrer les diverses activités industrielles présentes dans l'arrondissement du Sud-Ouest et pour y amener de nouvelles industries créatrices d'emplois durables (Ville de Montréal, 2013). Dans le but de renouveler les infrastructures routières de ce site, le MTQ a d'importants besoins en remblais et accepte de recevoir des sols et des matériaux à certaines conditions environnementales et géotechniques (MTQ, 2013). Puisque le GVMRIND permet d'utiliser les matériaux de catégorie III comme remblais et des besoins du MTQ, les gestionnaires du projet du site Outremont choisissent d'envoyer les matières résiduelles excavées au site de la cour Turcot.

Cependant, cette option ne s'est jamais concrétisée parce que pour accepter ces matières, les gestionnaires du projet de la cour Turcot devaient obtenir diverses autorisations du MDDEFP pour faire modifier le décret déjà octroyé à la suite du dépôt de l'étude d'impact sur l'environnement du projet. C'est principalement pour des raisons administratives que cette option ne peut être retenue, mais aussi parce que les volumes peu importants de matériaux provenant du site Outremont ne peuvent justifier les efforts nécessaires pour faire modifier le décret (Gauthier, 2013).

La version définitive du plan de réhabilitation combine une partie du plan de réhabilitation approuvée en 2010 et une autre partie de celui de 2012. Ce plan s'est appuyé sur les renseignements et résultats des travaux antérieurs de caractérisation des sols, des matières résiduelles et de l'eau souterraine du site et il présente la stratégie retenue pour le réhabiliter. Les activités historiquement pratiquées sur la cour Outremont font partie de la liste des activités désignées à l'Annexe III du RPRT sous la catégorie « Activités de soutien au transport ferroviaire ». L'article 31.53 de la LQE s'applique à ce terrain dans le contexte du changement d'usage du terrain projeté par l'UdeM. Puisqu'il y a un changement d'usage où une AID a eu lieu, le plan de réhabilitation doit être approuvé par le MDDEFP.

L'approche classique de réhabilitation par excavation implique l'enlèvement complet des sols contaminés jusqu'à l'atteinte des VLR. Cette approche s'applique aux zones 2, 3, 5, 6 et 8. L'annexe 1 présente la répartition des différentes zones sur le site. Le critère applicable pour les zones 3 et 8 est le critère C et le critère applicable pour les autres zones est le critère B. L'usage de la zone 7, demeure le même qu'avant, c'est-à-dire un usage ferroviaire. Cette zone demeure la propriété du CP et en vertu de la législation québécoise, n'a pas besoin d'être réhabilitée. Par contre, l'UdeM et le CP ont établi une entente selon laquelle ce dernier s'engage à respecter le critère C de la PPRT. Quelques excavations ponctuelles ont eu lieu dans cette zone. Quant à l'analyse de risque, cette approche s'applique seulement aux zones 1 et 4 (Genivar, 2009).

Lorsqu'un horizon est constitué de plus de 50 % de matières résiduelles, il doit être géré comme une matière résiduelle et lorsque l'horizon contient moins de 50 % de matières résiduelles, il doit être géré comme un sol. Dans ce dernier cas, les sols sont soit réutilisés comme remblais sur le site, soit décontaminés hors site dans un centre autorisé de traitement de sols contaminés, soit enfouis dans un lieu autorisé d'enfouissement sécuritaire de sols contaminés.

La topographie du site Outremont montre un dénivelé du sud vers le nord, en continuité avec la pente du Mont-Royal. Un rehaussement du terrain dans la portion nord du site devra être fait, de manière à permettre un drainage des eaux vers le sud pour éviter le corridor ferroviaire, situé dans la partie nord du site. Ce rehaussement s'atténuera progressivement vers le sud. La modification de la topographie du terrain permet, dans les zones du secteur nord gérées par analyse de risque, de laisser en place les sols et les matières résiduelles. De plus, les sols et les matières résiduelles des autres secteurs du site pouvaient être envoyés dans la zone d'analyse de risque, à titre de matériaux de remblai, mais à certaines conditions. Ces dernières sont présentées à la section 6.4.

#### **5.4 Mode de gestion des mâchefers**

Les matières résiduelles constituées principalement de charbon, de MC et de cendres ont suivi la procédure complète du GVMRIND et ont été classées dans la catégorie III. En effet, bien qu'elles contiennent des composés organiques comme les HAP et que normalement, elles ne pourraient pas suivre la procédure, elles ont fait l'objet d'une exception. La raison est que les HAP présents dans ces matières sont de type pyrogénique, c'est-à-dire issus d'un processus de

combustion et non pas issus d'une contamination induite. Par contre, les matières résiduelles contenant des HAP de type pétrogéniques provenant, par exemple, d'un déversement de diesel, n'ont pas été incluses dans la catégorie III (Gauthier, 2013).

Le MDDEFP a accepté le classement dans la catégorie III des matières résiduelles du site Outremont et les options de mise en valeur prévues dans le plan de réhabilitation.

Comme le plan de réhabilitation le permet et conformément à son objectif de réutilisation des matériaux du site pour le remblayage, les matières résiduelles ont été réutilisées comme matériaux de remblayage dans les zones où les mesures de gestion du risque sont applicables, soit les zones 1 et 4. Pour cela, les conditions à respecter sont à l'effet que les concentrations totales ne devraient pas excéder les normes de l'Annexe I du RESC, ou critère D, et qu'elles doivent être considérées comme non dangereuses en vertu du RMD. Il est à noter que les sols contaminés par les hydrocarbures pétroliers ne peuvent pas être laissés en place dans les zones d'analyse de risque et doivent être excavés.

Pour s'assurer que ces matières résiduelles respectent ces conditions, plusieurs échantillons ont été analysés pour doser les HAP et les métaux, soumis à un essai de lixiviation et analysés pour leur concentration en huiles et graisses.

Les résultats des analyses étaient tous situés sous les normes de l'Annexe I du RESC, sous les normes de lixiviation (article 3 du RMD) et inférieurs au critère de 3 % en masse d'huile ou de graisse (article 4 du RMD). Ainsi, aucune matière résiduelle dangereuse n'a été identifiée.

Il est à noter que les matières résiduelles présentant des indices visuels et/ou olfactifs de contamination en hydrocarbures pétroliers n'ont pas été mises en valeur sur le site, mais ont plutôt été envoyées au LET de Sainte-Sophie suite à la réception des résultats d'analyses confirmant qu'il ne s'agissait pas de matières dangereuses (moins de 3 % en masse d'huile ou de graisse).

Des débris comme la brique, le béton, le bois, le plastique, etc. étaient parfois présents avec les matières résiduelles. Lorsqu'une ségrégation de ces débris était impossible et qu'ils étaient dans une proportion jugée trop importante, les matières résiduelles ont été envoyées dans un LET.

Ce n'est pas l'ensemble des mâchefers qui ont été réutilisés sur le site. En effet, contrairement à ce qui était prévu au début du projet, le promoteur s'est, pendant les travaux, rendu compte qu'il disposait d'un important surplus de sol et de matières résiduelles. Cela explique pourquoi une quantité considérable de mâchefers a été éliminée hors site, même au-delà de ce qui était prévu dans la dernière version du plan de réhabilitation.

Sur les 106 687 tonnes de matière résiduelles disposées hors site en 2012, il est estimé qu'environ 9 800 tonnes et 16 750 tonnes provenaient des zones 2 et 3 respectivement. Sur les 95 000 m<sup>3</sup> de matières résiduelles réutilisées sur le site en 2012, 8 869 m<sup>3</sup> de provenaient des zones 2 et 3. L'ensemble des travaux de réhabilitation sur le site de la cour Outremont n'étant pas entièrement complété en date du 21 décembre 2012, les données sur les tonnages de mâchefers sont appelées à changer (Genivar, 2013). Par contre, ces données démontrent que pour les zones 2 et 3, et peut-être pour les autres zones, une plus grande quantité de mâchefer a été enfouie plutôt que réutilisée sur le site.

Le recours à une approche mixte dans le cadre d'une réhabilitation d'un site contaminé constitue un gain environnemental, notamment en limitant les impacts négatifs sur l'environnement associés au camionnage hors site de sols vers des lieux d'enfouissement et au camionnage de remblais importés nécessaires au remplacement des sols éliminés hors site. Par contre, il est dommage que les matières résiduelles n'aient pas pu être envoyées au site de la cour Turcot pour des raisons administratives. Cela a fait en sorte d'envoyer une grande quantité de matières résiduelles au LET de Sainte-Sophie, alors qu'au départ, l'objectif était de n'y en envoyer aucune.

## 6. RECOMMANDATIONS

À partir des informations obtenues tout au long de cet essai et de l'analyse qui en a été faite, cette section présente un certain nombre de recommandations concernant la gestion des mâchefers au Québec. Ces dernières ont pour but d'améliorer, de façon générale, la gestion des MC et des MIOM au Québec dans une perspective de développement durable à long terme, de réduire leur élimination dans les sites d'enfouissement et d'augmenter leur mise en valeur.

### 6.1 Améliorer et optimiser les outils d'encadrement et les procédures

Une contradiction dans la façon de gérer les mâchefers a été relevée entre la direction nationale du MDDEFP et la direction régionale de Montréal. Il s'agit de l'exception accordée au statut des mâchefers du site Outremont par cette dernière pour permettre leur mise en valeur selon les options prévues à la catégorie III du *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses*, malgré le fait qu'ils présentent des concentrations en composés organiques supérieures à la limite de quantification. La raison de cette exception est l'origine pyrogénique des HAP présents dans les mâchefers. Dans le Guide, il n'est aucunement mentionné que des exceptions peuvent être accordées aux matières résiduelles pour permettre leur mise en valeur. Il serait logique de penser que plusieurs générateurs de matières résiduelles inorganiques contenant des composés organiques éliminent rapidement l'option de mise en valeur parce que le GVMRIND spécifie clairement qu'elles ne peuvent être mises en valeur.

**Recommandation # 1 : Il est recommandé au MDDEFP, lors de la refonte du *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses*, d'y inclure la possibilité que les directions régionales octroient des exceptions au cas par cas qui permettraient la mise en valeur de matières résiduelles contenant une fraction organique.**

Cette mesure simple pourrait avoir pour effet d'augmenter le tonnage de ces dernières mises en valeur et qui seraient ainsi détournées des sites d'enfouissement.

Par contre, les outils d'encadrement et les procédures doivent rester, autant que possible, simples et efficaces. Cela est démontré par l'exemple du contexte réglementaire relativement compliqué adopté par l'UE qui a eu des effets négatifs sur la mise en valeur des mâchefers au Royaume-Uni. Il faut donc que les outils et les guides présentent clairement la démarche à suivre, les conditions à respecter et toutes les possibilités de mise en valeur pour que n'importe quel producteur ou propriétaire de matières résiduelles, sache exactement ce qu'il doit faire afin de mettre en valeur ces matières et de quelle façon il peut les mettre en valeur.

## **6.2 Rendre les outils et les règlements plus souples**

De façon générale, les règlements qui touchent indirectement à la gestion des mâchefers et les outils de gestion (le GVMRIND) sont stricts et laissent peu de place à l'interprétation ou à des conditions particulières. Certes, le but visé est de protéger l'environnement à long terme et d'appliquer le principe de précaution. Par contre, il est difficile d'évaluer à quel point la rigidité de ces règlements et guides fait en sorte de réduire la quantité de matières qui sont ou qui pourraient être mises en valeur. Il serait logique de penser qu'en augmentant la souplesse des procédures, la mise en valeur de ces matières serait ainsi favorisée.

En effet, par analogie à l'analyse de risque pour les terrains contaminés, si les risques toxicologiques, écotoxicologiques, les risques sur l'eau souterraine et même sur l'atmosphère de la mise en valeur de matières résiduelles peuvent être quantifiés et qualifiés d'acceptables, pourquoi ne pourraient-elles pas être mises en valeur ? De plus, il serait pertinent d'inclure l'évaluation des bénéfices environnementaux, sociaux et économiques du détournement des sites d'enfouissement des matières résiduelles mises en valeur.

**Recommandation # 2 : Il est recommandé au MDDEFP de modifier les règlements et les outils pour qu'ils intègrent l'évaluation du risque associé à la mise en valeur de ainsi que d'évaluer les bénéfices environnementaux de la mise en valeur des matières résiduelles.**

Cette deuxième recommandation, combinée à la première, devrait faire en sorte d'augmenter de beaucoup le tonnage des matières résiduelles mises en valeur et ainsi détournées des sites d'enfouissement.

### **6.3 Rendre l'enfouissement plus difficile**

**La présence des sites d'enfouissement occasionne des impacts négatifs pour la société, si bien que l'esprit de la 3<sup>e</sup> Politique québécoise de gestion des matières résiduelles est d'en limiter l'accès.** Actuellement, les redevances exigibles pour y enfouir les mâchefers sont les mêmes que pour les déchets; elles sont de 20,91 \$/t. C'est un phénomène bien connu : lorsque les prix à la tonne pour l'enfouissement augmentent, le tonnage de matières enfouies diminue.

**Recommandation # 3 : Il est recommandé au MDDEFP, en cohérence avec l'esprit de la 3<sup>e</sup> politique, d'augmenter les redevances exigibles à l'enfouissement pour tous les déchets, mais aussi d'augmenter les redevances exigibles à l'enfouissement spécifiquement pour les MC et les MIOM qui peuvent être mis en valeur.**

Par analogie au RESC qui limite fortement l'enfouissement de sols contaminés, un ajout au REIMR pourrait être fait, ou bien un règlement adopté qui concernerait directement les mâchefers. Cet ajout ou ce règlement autoriserait l'enfouissement des mâchefers seulement lorsque des efforts de mise en valeur ont été tentés. Cela aurait pour effet de diminuer la part des mâchefers enfouis, mais aussi de stimuler la recherche dans ce domaine et d'intéresser les différents intervenants (entrepreneurs, industriels, commerciaux, etc.) à la mise en valeur des mâchefers.

**Recommandation # 4 : Il est recommandé au MDDEFP d'adopter un règlement ou de modifier le REIMR pour lier l'enfouissement des mâchefers à la démonstration que des efforts de mise en valeur ont échoué.**

### **6.4 Promouvoir la recherche dans les produits incorporant des mâchefers**

La recherche dans le domaine de l'incorporation de matières résiduelles dans divers produits est peu développée au Québec, contrairement à d'autres pays comme les États-Unis et le Royaume-Uni. Pourtant, plusieurs pays ont démontré certains avantages à l'incorporation des MC et/ou des MIOM dans divers produits, comme le béton. Ce domaine de recherche est encore jeune et les possibilités sont grandes. Aussi, les recherches qui sont actuellement menées à cet égard démontrant les avantages et la rentabilité d'incorporer les mâchefers dans

différents produits intéresseront les industriels et favoriseront la mise en place de solutions commerciales dans le but d'économiser. Les gouvernements pourraient aussi donner l'exemple aux divers intervenants dans le domaine de la gestion des matières résiduelles en adoptant des politiques d'achat écoresponsables pour favoriser l'achat de produits contenant des mâchefers ou d'autres matières résiduelles incorporées.

En cohérence, les résultats positifs de ces recherches devraient se refléter dans les outils d'encadrement, par exemple le GVMRIND et les procédures, afin que ces résultats ne restent pas uniquement dans la communauté scientifique. Ceci permettrait de détourner ces matières résiduelles des sites d'enfouissement, ce qui s'inscrit dans une démarche de développement durable.

**Recommandation # 5 : Il est recommandé aux gouvernements fédéral et provincial d'augmenter les subventions accordées aux centres de recherche actifs dans le domaine de l'incorporation de matières résiduelles dans différents produits, d'examiner les résultats de ces recherches et d'adopter des politiques écoresponsables d'achat de produits contenant des matières résiduelles incorporées.**



## CONCLUSION

Cet essai avait pour objectif de dresser le portrait de la situation des mâchefers au Québec, notamment en comparant les modes de gestion en vigueur au Québec par rapport à d'autres pays occidentaux, dans le but de recommander des améliorations durables au mode de gestion québécois.

Bien que le contexte réglementaire québécois ne régit pas directement les mâchefers, son étude a permis de comprendre comment les principales lois et règlements influencent la gestion des mâchefers au Québec. De plus, l'étude de la position générale du MDDEFP démontre que ce dernier est plutôt strict et sévère au niveau de la mise en valeur des mâchefers, mais aussi de toutes les matières résiduelles. La raison de cette façon d'agir est de protéger l'environnement et la santé humaine, ce qui est louable.

L'étude des modes de gestion des mâchefers pratiqués au Québec et dans d'autres juridictions a permis de comprendre les outils qui encadrent la gestion des mâchefers. La façon de gérer ces derniers est très différente d'une juridiction à une autre et des liens de cause à effet généraux ne peuvent pas nécessairement être établis. La comparaison effectuée de ces différents modes de gestion démontre que le mode de gestion québécois, par son manque de souplesse, favorise l'enfouissement des mâchefers, au détriment de leur mise en valeur. Un facteur qui pourrait expliquer en partie cette tendance à l'enfouissement des matières résiduelles au Québec est le grand territoire disponible et la faible densité de population.

Le projet de réhabilitation environnementale de l'ancienne gare de triage d'Outremont est intéressant, puisque son étude démontre que même dans le cas où la mise en valeur des mâchefers est le mode de gestion retenu à priori, des facteurs purement administratifs peuvent faire échouer cette volonté de détourner les mâchefers des sites d'enfouissement.

Les cinq recommandations ont donc été formulées en tenant compte de toutes les informations obtenues précédemment et qui s'inscrivent dans une démarche de développement durable. Leur application permettrait d'obtenir des bénéfices sociaux, notamment en prolongeant la durée de vie des sites d'enfouissement actuels, et en intéressant plusieurs intervenants à la mise en valeur des matières résiduelles. Au niveau économique, l'incorporation de mâchefers

dans divers produits permettrait de réduire la quantité de matériaux bruts (gravier, sable, etc.) utilisés dans leur fabrication, ce qui permettrait d'en réduire les coûts. Au niveau environnemental, cette meilleure gestion pourrait entraîner une réduction des émissions de GES, de même qu'une réduction des impacts environnementaux négatifs des sites d'enfouissement (lixiviats, biogaz, etc.).

Les recommandations présentées au dernier chapitre se situent tellement en amont dans une démarche d'amélioration durable du mode de gestion québécois des matières résiduelles et des mâchefers, qu'il n'a pas été possible de recommander spécifiquement les différentes façons de mettre en valeur les mâchefers. Il serait intéressant de voir quelles seraient les options de mise en valeur des mâchefers qui seraient viables et qui seraient les plus avantageuses pour le Québec. Une analyse technique, environnementale, économique et sociale des différentes options de mise en valeur des mâchefers présentées, dans les juridictions étudiées, pourrait être effectuée pour démontrer laquelle ou lesquelles devraient être mises de l'avant au Québec.

## RÉFÉRENCES

- Allô Prof (2010). L'industrialisation en Angleterre. *In* Allô Prof. *L'industrialisation : une révolution économique et sociale*. <http://bv.alloprof.qc.ca/h1079.aspx> (Page consultée le 29 février 2013).
- AMORCE (2012). État des lieux de la gestion des mâchefers en France. *In* Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur. Publications. <http://www.amorce.asso.fr/-Technique-.html#DT50EtatdeslieuxdelagestiondesmchefersenFrance> (Page consultée le 16 janvier 2013).
- Ariffin, K.S. (2007). *Fly ash - coal combustion residue*. *In* Université des sciences de Malaisie. *Minéraux industriels*. <http://mineral.eng.usm.my/web%20halaman%20mineral/Components%20of%20coal%20ash.pdf> (Page consultée le 25 janvier 2013).
- Autorité de sûreté nucléaire (2009). Les cendres des centrales thermiques au charbon. *In* Autorité de sûreté nucléaire. Publications. [http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=premiere%20partie%20les%20cendres%20des%20centrales%20thermiques%20au%20charbon&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.asn.fr%2Findex.php%2Fcontent%2Fdownload%2F15165%2F99698%2FRNTR\\_P1\\_CH1\\_depots\\_cendre\\_de\\_charbon.pdf&ei=aCYUZ6UJuan0AHFjoGwCQ&usg=AFQjCNGNXvztLfQ2p6HBUN-pS8ilZcbsrg&bvm=bv.42080656,d.dmQ](http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=premiere%20partie%20les%20cendres%20des%20centrales%20thermiques%20au%20charbon&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.asn.fr%2Findex.php%2Fcontent%2Fdownload%2F15165%2F99698%2FRNTR_P1_CH1_depots_cendre_de_charbon.pdf&ei=aCYUZ6UJuan0AHFjoGwCQ&usg=AFQjCNGNXvztLfQ2p6HBUN-pS8ilZcbsrg&bvm=bv.42080656,d.dmQ) (Page consultée le 9 février 2013).
- Bertholon, J. (2002). *Les déchets solides de l'incinération des ordures ménagères*. Mémoire, Université de Cergy-Pontoise, Cergy-Pontoise, 28 p.
- Burelle, S. (2013). Discussion au sujet de la gestion des mâchefers au Québec. Communication orale. *Entrevue menée par Olivier Guilbault avec Suzanne Burelle, responsable des matières résiduelles pour l'ensemble du Québec au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP)*, 20 mars 2013, Québec.
- CCME (2009). *Canada-wide standard for mercury emission from coal-fired electric power generation plants*. *In* CCME. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/cws\\_mercury\\_coalfired\\_2009rpt\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/cws_mercury_coalfired_2009rpt_e.pdf) (Page consultée le 8 février. 2013).
- Commission européenne (2012). *Directive 2008/98/CE sur les déchets*. *In* Commission européenne. Environnement. <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/> (Page consultée le 2 février 2013).
- Commission européenne (2013). REACH. *In* Commission européenne. Environnement. [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach\\_intro.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm) (Page consultée le 2 février 2013).

- Cresswell, D. (2007). *Municipal Waste Incinerator Ash in manufactured Aggregate. In Smartwaste. Case studies.* [http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Incineratorbottomash\\_ManufacturedAgg.pdf](http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Incineratorbottomash_ManufacturedAgg.pdf) (Page consultée le 18 février 2013).
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (2007). *Incineration of municipal solid waste. In Recycle for Gloucestershire. Downloads.* <http://www.recycleforgloucestershire.com/recover/what-are-we-doing/downloads/incineration.pdf> (Page consultée le 18 janvier 2013).
- Devlin, B. (2010). *EPA's Proposed Rule for Coal Combustion Residuals. In USEPA. Wastes Non hazardous.* <http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=epa%E2%80%99s%20proposed%20rule%20for%20coal%20combustion%20residuals%20betsy%20devlin&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fosw%2Fnonhaz%2FIndustrial%2Fspecial%2Ffossil%2Fccr-rule%2Fpresentation8-12-10.ppt&ei=WPsYUbCyF-TCOQGh54DACQ&usg=AFQjCNFYUIC2cFDet9ZSy11lmi8wHu8jQ&bvm=bv.42080656,d.dmQ> (Page consultée le 18 février 2013).
- EMSE (2001). *Quel devenir pour les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères ?* In École des mines nationale de Saint-Étienne. *Gestion intégrée des ordures ménagères.* [http://www.emse.fr/tice/uved/gidem/res/machefers\\_OM.pdf](http://www.emse.fr/tice/uved/gidem/res/machefers_OM.pdf) (Page consultée le 16 janvier. 2013).
- Eurelectric (2011). *Commission Consultation on the review of the Hazardous Properties. In Eurelectric. Publications.* [http://www.eurelectric.org/media/27220/eurelectric\\_final\\_letter\\_\\_european\\_waste\\_list\\_-\\_hazardous\\_properties\\_may2012\\_-2012-030-0495-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/27220/eurelectric_final_letter__european_waste_list_-_hazardous_properties_may2012_-2012-030-0495-01-e.pdf) (Page consultée le 2 janvier. 2013).
- Federal Highway Administration (2012). *User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction. In Federal Highway Administration. Publications.* <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/cbabs1.cfm>(Page consultée le 26 janvier. 2013).
- Feng, S., Wang, X., Wei, G., Peng, P., Yang, Y. et Cao, Z. (2007). *Leachates of municipal solid waste incineration bottom ash from Macao: Heavy metal concentrations and genotoxicity. Chemosphere*, vol. 67, n 6. <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S004565350601558X#> (Page consultée le 2 février 2013).
- Feuerborn, H. (2011). *Coal combustion products in Europe - an update on production and utilisation, standardisation and regulation. In University of Kentucky. University of Kentucky Center for Applied Energy Research.* <http://www.flyash.info/2011/007-feuerborn-2011.pdf> (Page consultée le 15 février. 2013).
- Gauthier, A. (2013). *Discussion au sujet du projet de réhabilitation environnementale de la gare de triage d'Outremont. Communication orale. Entrevue téléphonique menée par Olivier Guilbault avec Annie Gauthier, directrice de projets chez Génivar, 2 avril 2013, Sherbrooke.*

- Genivar Inc. (2009). Plan de réhabilitation Cour de triage Outremont, Campus universitaire Outremont. In Université de Montréal. Grandsprojets. [http://www.umontreal.ca/grandsprojets/documents/outremont/Plan\\_rehabilitation\\_Outremont.pdf](http://www.umontreal.ca/grandsprojets/documents/outremont/Plan_rehabilitation_Outremont.pdf) (Page consultée le 21 janvier 2013).
- Genivar Inc. (sous presse) Rapport de réhabilitation – Ancienne cour de triage Cour Outremont, Zones 2 et 3 : Esplanade et cour de voirie. Rapport réalisé pour l'Université de Montréal. 39 p.
- Gouvernement de l'Alberta (2012). *Coal ash - Acceptable industry practices*. In *Government of Alberta. Environment and Sustainable Resource Development*. <http://environment.gov.ab.ca/info/library/7638.pdf> (Page consultée le 8 février 2013).
- Clarke, M.J. (2002). *Introduction to Municipal Solid Waste Incineration*. In *Hunter college of the city University of New York. Department of Geography*. <http://www.geo.hunter.cuny.edu/~mclarke/IntroMSWincineration.htm> (Page consultée le 2 janvier 2013).
- Keppert, M., Pavlík, Z., Cerny, R. et Reiterman, P. (2012). *Properties of Concrete with Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash*. In *International proceedings for computer science and information technology. Coimbatore conferences*. <http://www.ipcsit.com/vol28/024-CoimbatoreConferences-T002.pdf> (Page consultée le 9 janvier 2013).
- Kosson, D., Sanchez, F., Kariher, P., Turner, L.H., Delapp, R. et Seignette, P. (2009) *Characterization of Coal Combustion Residues from Electric Utilities – Leaching and Characterization Data*. In *USEPA. Publications*. <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007JBD.PDF> (Page consultée le 2 février 2013).
- Kim, B., Prezzi, M. et Salgado, R. (2005). *Geotechnical properties of fly and bottom ash mixtures for use in highway embankments*. In *Purdue University. Engineering*. [https://engineering.purdue.edu/~mprezzi/pdf/10900241\\_geotechnical\\_properties.pdf](https://engineering.purdue.edu/~mprezzi/pdf/10900241_geotechnical_properties.pdf) (Page consultée le 28 janvier. 2013).
- Loi sur la qualité de l'environnement*, L.R.Q., c. Q-2.
- Lindon K.A.S. (2009). *Coal fired power station ash products and EU regulation. Coal combustion and gasification products*, vol. 1. <http://www.coalcp-journal.org/papers/2009/CCGP-D-09-00008-Sear.pdf> (Page consultée le 5 février 2013.).
- Sarazin, M. (2003). Les mâchefers d'incinérateurs. In Association Pour la Protection de l'Environnement du Lunellois. Documentation technique. [http://www.lappel.net/pages/doc\\_tech/machefers.htm](http://www.lappel.net/pages/doc_tech/machefers.htm) (Page consultée le 21 janvier 2013).

- Lam, C.H.K., Ip, A.W.M., Barford, J.P. et McKay, G. (2010). *Use of Incineration MSW Ash: A Review. Sustainability*, vol. 2, n° 2010. <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/7/1943> (Page consultée le 28 janvier).
- Li, M., Xiang, J., Hu, S., Sun, L.S., Su, S. Li, P.S. et Sun, X.X. (2004). *Characterization of solid residues from municipal solid waste incinerator. In Environnement technical information service. Waste Management*. <http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41010293.pdf> (Page consultée le 26 janvier 2013).
- Ministère de l'Environnement (2002). *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction. In MDDEFP. Matières résiduelles*. [http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat\\_res/inorganique/matiere-residuelle-inorganique.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/inorganique/matiere-residuelle-inorganique.pdf) (Page consultée le 4 janvier 2013).
- MDDEFP (2002a). *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. In MDDEFP. Terrains contaminés*. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/> (Page consultée le 12 février 2013).
- MDDEFP (2002b). *Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. In MDDEFP. Terrains contaminés*. <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/sol/terrains/loi-reg.htm#enfouissement> (Page consultée le 12 février 2013).
- Ministère des Transports du Québec (2013). *Acceptation des sols et matériaux dans la cour Turcot. In Ministère des Transports du Québec. Documentation*. <http://www.turcot.gouv.qc.ca/projet/description/Documents/ACCEPTATION%20DES%20SOLS%20ET%20MAT%20C3%89RIAUX%20DANS%20LA%20COUR%20TURCOT.pdf> (Page consultée le 25 avril 2013).
- Naganathan, S., Subramaniam, N. et Nasharuddin Bin Mustapha, K. (2011). *Development of brick using thermal power plant bottom ash and fly ash. In Scientific Information Database. Publications*. [http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/103820120209.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/103820120209.pdf) (Page consultée le 26 janvier 2013).
- OFRI (2006). *Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. In Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières. Articles*. [ofrir.lcpc.fr/article\\_produit/61/0/225/article\\_initial.doc](http://www.ofrir.lcpc.fr/article_produit/61/0/225/article_initial.doc) (Page consultée le 28 janvier 2013).
- O'Meara, J. (2012). *Courtice incinerator 15 per cent complete. In Metroland. Articles*. <http://www.durhamregion.com/article/1525645--courtice-incinerator-15-per-cent-complete> (Page consultée le 15 février 2013).

- Ornebjerg, H. (2007). *Management of bottom ash from Waste to energy plants*. In *International Solid Waste Association. Publications*. [http://www.iswa.org/en/525/knowledge\\_base.html?tx\\_iswaknowledgebase\\_filter%5Bcategories%5D=all&tx\\_iswaknowledgebase\\_filter%5Bmaincategories%5D=0%2C1&tx\\_iswaknowledgebase\\_list%5Bpage%5D=99&tx\\_iswaknowledgebase\\_list%5Bsorting%5D=title&cHash=6e9ee1af1abf1607ffb968220860f9](http://www.iswa.org/en/525/knowledge_base.html?tx_iswaknowledgebase_filter%5Bcategories%5D=all&tx_iswaknowledgebase_filter%5Bmaincategories%5D=0%2C1&tx_iswaknowledgebase_list%5Bpage%5D=99&tx_iswaknowledgebase_list%5Bsorting%5D=title&cHash=6e9ee1af1abf1607ffb968220860f9) (Page consultée le 30 janvier 2013).
- Perreault, M. (2007). Des routes de verre. In *La Presse*. Actualités auto. <http://auto.lapresse.ca/actualites/201109/12/01-4436299-des-routes-de-verre.php> (Page consultée le 5 mars 2013).
- Pignet, S. (2009). Les cendres de charbon reviennent sur le devant de la scène. In *Journal de l'environnement*. Déchets. <http://www.journaldelenvironnement.net/article/les-cendres-de-charbon-reviennent-sur-le-devant-de-la-scene,10474> (Page consultée le 10 février 2013).
- Quilici, L., Praud, A., Tabaries, Bottzeck, O. et Tiliacos, N. (2003). Évaluation rapide de la qualité des mâchefers issus de l'incinération des déchets ménagers. *Environmental Technology*, vol. 24. <http://www.tandfonline.com.ezproxy.usherbrooke.ca/doi/pdf/10.1080/09593330309385637> (Page consultée le 31 janvier).
- Radisson, L. (2011). Recyclage des mâchefers en technique routière : l'arrêté est paru. In *Actu-Environnement*. Actualités. <http://www.actu-environnement.com/ae/news/machefers-incineration-dechets-recyclage-technique-routiere-arrete-14257.php4> (Page consultée le 2 janvier 2013).
- Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* chapitre Q-2, r. 37
- Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* chapitre Q-2, r. 18
- Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* chapitre Q-2, r. 19
- Règlement sur les matières dangereuses* chapitre Q-2, r. 32
- Sarode, D.B., Jadhav, R.N., Khatik, V.A., Ingle, S.T. et Attarde, S.B. (2010). *Extraction and Leaching of Heavy Metals from Thermal Power Plant Fly Ash and Its Admixtures* In *Polish journal of environmental studies*. Index. <http://www.pjoes.com/abstracts/2010/Vol19/No06/24.html> (Page consultée le 26 janvier 2013).
- Sia Partners* (2009). Le charbon : rapide état des lieux sur la deuxième source d'énergie mondiale. In *Énergies et Environnement*. Actualités. <http://energie.sia-partners.com/20070223/le-charbon-rapide-etat-des-lieux-sur-la-deuxieme-source-denergie-mondiale/> (Page consultée le 3 janvier 2013).

- Sijakova, T., Panov, Z., Blazev, K. et Zajkova-Paneva, V. (2011). *Investigation of fly ash heavy metals content and physico chemical properties from thermal power plant, Republic of Macedonia*. In *International Journal of Engineering Science and Technology*. Info. <http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-12-194.pdf> (Page consultée le 26 janvier 2013).
- Takahashia, F. and Shimakoa, T. (2012). *The weathering of municipal solid waste incineration bottom ash evaluated by some weathering indices for natural rock*. *Waste Management*, vol. 32, n 12. <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0956053X12002796> (Page consultée le 2 février).
- Union européenne (2012). *Directive 2000/76/CE* du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000 sur l'incinération des déchets. In Union européenne. L'accès au droit de l'Union européenne. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0076:FR:HTML> (Page consultée le 1 janvier 2013).
- University of kectucky (2012). Fly ash. In University of kectucky. *Centre for Applied Energy Research*. <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/flyash.shtml> (Page consultée le 25 janvier 2013).
- USEPA (2012a). *Coal Combustion Residuals - Proposed Rule*. In USEPA. *Non-hazardous waste*. <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/industrial/special/fossil/ccr-rule/index.htm> (Page consultée le 5 janvier 2013).
- USEPA (2012b). *Municipal solid waste combustion*. In USEPA. *Non-hazardous wastes*. <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/combustion.htm> (Page consultée le 5 janvier 2013).
- Ville de Montréal (2013). La cour Turcot. In Ville de Montréal. Arondissement du Sud-Ouest. [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=81,22863570&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=81,22863570&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Page consultée le 23 avril 2013).
- Weis, T., Partington, P. J., Anderson, K., Thibault, B. et Gibson, S. (2012). *The high costs of cheap power*. In Pembina institute. *Media room, Publications*. [pubs.pembina.org/reports/high-costs-of-cheap-power.pdf](http://pubs.pembina.org/reports/high-costs-of-cheap-power.pdf) (Page consultée le 20 janvier 2013).
- We Energies (2012). *Coal combustion products and electric power generation*. In Wisconsin Energy Corporation. *Environnement*. [http://www.we-energies.com/environmental/ccp\\_handbook\\_ch2.pdf](http://www.we-energies.com/environmental/ccp_handbook_ch2.pdf) (Page consultée le 26 janvier 2013).
- Xuea, Y., Houa, H., Zhua, S. et Zha, J. (2009). *Utilization of municipal solid waste incineration ash in stone mastic asphalt mixture: Pavement performance and environmental impact*. *Construction and building materials*, vol. 23, n° 2. <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0950061808001293#> (Page consultée le 5 janvier 2013).



## BIBLIOGRAPHIE

- Environnement Canada (2010). Document technique sur l'incinération en discontinu de matières résiduelles. In Environnement Canada. L'environnement et déchets solides municipaux. <http://www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=Fr&n=0DDD2BD0-1> (Page consultée le 28 janvier. 2013).
- Hjelmar, O. (1996). *Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues*. *Journal of hazardous materials*, vol. 47, n° 1-3, p. 345-368.
- Jindřich Petrlík, Ralph Anthony Ryder (2005). *After incineration: the toxic ash problem*. In *International POP'S Elimination Network. Documents*. [http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/incineration\\_ash.pdf](http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/incineration_ash.pdf) (Page consultée le 20 janvier. 2013).
- Ken Riley (2005). *Legislation relevant to ash disposal*. In *Cooperative Research Centre for Coal in Sustainable Development. Publications*. <http://www.ccsd.biz/publications/files/TN/ACF3AB1.pdf> (Page consultée le 20 janvier. 2013).
- Lindsay Morris (2011). *Ash handling options for coal-fired power plants*. In *Power engineering. Articles*. <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-115/issue-2/features/ash-handling-options-for-coal-fired-power-plants.html> (Page consultée le 28 décembre 2012).
- Mineral industry research organisation (2007). *Municipal Waste Incinerator ash in manufactured aggregate*. In *Smartwaste. Case study*. [http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Incineratorbottomash\\_ManufacturedAgg.pdf](http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Incineratorbottomash_ManufacturedAgg.pdf) (Page consultée le 16 janvier 2013).
- National research council (2006). *Managing coal combustion residues in mines*. In *Clean air task force. Ressources*. [http://www.catf.us/resources/filings/power\\_plant\\_waste/NAS\\_Coal\\_Ash\\_Full\\_Report.pdf](http://www.catf.us/resources/filings/power_plant_waste/NAS_Coal_Ash_Full_Report.pdf) (Page consultée le 15 janvier 2013).
- Université de Montréal (2010). Présentation réhabilitation environnementale. In Université de Montréal. *Grands projets*. <http://www.umontreal.ca/grandsprojets/documents/outremont/Presentation-UdeM-Rehabilitation.pdf> (Page consultée le 25 décembre 2012).
- Van Der Sloot, H.A., Kosson, D.S. et Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, vol. 21, n° 8, p. 753-765.

**ANNEXE 1. ZONES DE RÉHABILITATION DE LA GARE DE TRIAGE D'OUTREMONT** (tiré de Génivar, sous presse)

