



RAPPORT FINAL

Évaluation des alternatives de valorisation des résidus de criblage fin issus des centres de tri des débris de construction, de rénovation et de démolition

Avril 2017





Regroupement des Récupérateurs et des Recycleurs
de Matériaux de Construction et de Démolition du Québec



ÉVALUATION DES ALTERNATIVES DE VALORISATION DES RÉSIDUS DE CRIBLAGE FIN ISSUS DES CENTRES DE TRI DES DÉBRIS DE CONSTRUCTION, DE RÉNOVATION ET DE DÉMOLITION

Équipe de réalisation du Chamard :

M. Jean-Louis Chamard, M. Sc. Env.
Mme Sandra Messih, B. Sc., M. Sc. Env.
M. Mathieu Painchaud, M. Sc. Env.
Mme Annie Choquette, M. Sc. Env. (2015)
Mme Julie Lasfargues, ing. (2015)

Équipe de réalisation de CTTEI :

Mme Edith Leclerc, ing.
Mme Claude Maheux-Picard, ing. M. Sc. A.
M. Jean-François Vermette, M. Sc.



4430, avenue Papineau
Montréal (Québec) H2H 1G8
Téléphone : 514 844-7111



3005, boulevard de Tracy
Sorel-Tracy (Québec) J3R 1C2
Téléphone : 450 551-8090

Avril 2017

Cette étude est issue d'une collaboration entre RECYC QUÉBEC et le 3R MCDQ.

Ce document technique est l'œuvre du cabinet Chamard stratégies environnementales (Chamard) et du Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTEI) et il est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Chamard-CTTEI et de son client.

Toute référence à ce document doit mentionner que celui-ci est l'œuvre de Chamard et du CTTEI.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	5
Liste des tableaux	7
Liste des figures	7
Liste des acronymes	9
Mise en contexte	11
1 Portrait des centres de tri de débris de CRD	13
1.1 État de la situation au Québec	13
1.2 Portrait des centres de tri rencontrés	14
1.3 Portrait à l'échelle du Québec	18
2 État de la situation au Canada et aux États-Unis	21
2.1 Ontario	21
2.2 Floride	21
2.3 Californie	23
2.4 Massachusetts	23
2.5 Minnesota	25
2.6 Constats	26
3 Caractéristiques générales des résidus de criblage fin	27
3.1 Résultats des essais en laboratoire	27
3.1.1 Granulométrie.....	28
3.1.2 Caractérisation visuelle des résidus de criblage fin	29
3.1.3 Analyses élémentaires	31
3.1.4 Lixiviation	31
3.1.5 Calorimétrie, halogènes et soufre.....	32
3.1.6 Teneur en eau et perte au feu	32
3.1.7 Autres analyses	32
3.2 Analyses reçues des centres de tri lors des visites	33
3.2.1 Granulométrie.....	33
3.2.2 Analyses élémentaires	34
3.2.3 Perméabilité.....	34
3.2.4 Test de compostage	34
3.3 Corrélation des résultats avec les procédures de tri utilisées	34
4 Filières potentielles de valorisation	36
4.1 Critères reliés aux efforts	36
4.2 Critères reliés aux bénéfices potentiels	36
4.3 Marché potentiel de valorisation	37
5 Filières de valorisation retenues	45
5.1 Abrasifs routiers	45
5.2 Ajouts cimentaires	46
5.3 Remplissage de carrières et sablières	46

6	Constats et recommandations	49
6.1	Constats.....	49
6.2	Recommandations.....	50
Annexe 1 — Liste des centres de tri au Québec		53
Annexe 2 — Fiches descriptives du portrait à l'étranger		57
Annexe 3 — Fiches descriptives des voies de mise en valeur		73
Annexe 4 — Rapport technique des analyses en laboratoire		101

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Regroupements des centres de tri selon les zones géographiques.....	14
Tableau 2 : Quantités de débris de CRD et de résidus de criblage fin produits par les centres de tri visités	14
Tableau 3 : Proportion de résidus de criblage fin produits par les centres de tri	15
Tableau 4 : Quantités de débris de CRD et de résidus de criblage fin générées par les centres de tri rencontrés.	17
Tableau 5 : Résultats de la caractérisation visuelle des résidus de criblage fin	30
Tableau 5 : Analyses physicochimiques reçues par certains centres de tri de débris de CRD	33
Tableau 6 : Effort pour les voies de mise en valeur des résidus de criblage fin de CRD	39
Tableau 7 : Bénéfice pour les voies de mise en valeur des résidus de criblage fin de CRD.....	40
Tableau 10 : Classement des voies de mise en valeurs selon l'analyse des Bénéfices / Efforts.....	42
Tableau 13 : Caractéristiques et exigences pour l'utilisation des résidus de criblage fin	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma simplifié des processus de tri et de conditionnement pour un centre de tri de débris de CRD de petite capacité.....	16
Figure 2 : Schéma simplifié des processus de tri et de conditionnement pour un centre de tri de débris de CRD de grande capacité	17
Figure 3 : Répartition de l'utilisation de résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les LET et LEDCD	19
Figure 4 : Manipulations et analyses sur les échantillons	28
Figure 5 : Répartition granulométrique des résidus de criblage fin de CRD	29
Figure 6 : Composition des résidus de criblage fin.....	31
Figure 6 : Graphique Efforts / Bénéfices (sans pondération)	41
Figure 7 : Graphique Efforts / Bénéfices (avec pondération).....	42

LISTE DES ACRONYMES

CTTEI :	Centre de transfert technologique en écologie industrielle
CRD :	Construction, rénovation et démolition
GMR :	Gestion des matières résiduelles
ICI :	Industries, commerces et institutions
ISÉ :	Information, sensibilisation et éducation
LET	Lieu d'enfouissement technique
LEDCC :	Lieu d'enfouissement de débris de construction et de démolition
MDDELCC :	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRF :	Matières résiduelles fertilisantes

MISE EN CONTEXTE

Le Regroupement des récupérateurs et des recycleurs de matériaux de construction et de démolition du Québec (3R MCDQ) a mandaté Chamard stratégies environnementales et le CTTEI pour réaliser une évaluation des alternatives de valorisation des résidus de criblage fin issus des centres de tri des débris de construction, de rénovation et de démolition (CRD).

Cette évaluation vise à mieux connaître les activités des centres de tri de CRD au Québec ainsi que leurs pratiques de valorisation des résidus de criblage fin, à analyser la composition des résidus de criblage fin générés au Québec, à proposer des pistes de valorisation et à vérifier leur validité et leur marché. Une analyse des pratiques et initiatives de valorisation de ces résidus en Amérique du Nord a également été entreprise. Cette évaluation doit déboucher sur des recommandations visant à réviser les pratiques des centres de tri et à proposer de nouvelles approches afin de mieux valoriser les résidus de criblage fin.

Pour réaliser cette étude, une tournée de plusieurs centres de tri de CRD a été entreprise par l'équipe de travail. Afin de conserver les pratiques commerciales de ces centres de tri, une entente de confidentialité a été conclue avec les entreprises rencontrées afin de préserver les informations sensibles à la concurrence.

Plusieurs analyses physicochimiques ont été réalisées par le CTTEI ou des laboratoires accrédités. Les échantillons ont été prélevés selon les règles de l'art lors des visites techniques des centres de tri ciblés.

Un comité de suivi a été créé par le 3R MCDQ avec la participation de certains centres de tri, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et RECYC QUÉBEC.

1 PORTRAIT DES CENTRES DE TRI DE DÉBRIS DE CRD

À l'automne 2015, 21 centres de tri de débris de CRD ont été contactés pour obtenir des informations sur leur installation et leur procédé. Dix-huit d'entre eux ont fait l'objet d'une visite et, dans certains cas, d'une prise d'échantillon des résidus de criblage fin. Lors de ces visites, plusieurs informations ont été recueillies, dont les bilans de masse des centres de tri pour l'année 2015 et certains rapports d'analyse physicochimiques des résidus. Au final, 10 échantillons de résidus de criblage fin¹ de CRD ont été prélevés dans huit entreprises différentes. Un triplicata a été prélevé dans une des entreprises pour fin de comparaison.

1.1 ÉTAT DE LA SITUATION AU QUÉBEC

Selon les données de RECYC-QUÉBEC, 63 centres de tri de débris de CRD² sont répartis dans presque toutes les régions administratives du Québec. Pour les fins du mandat, nous avons répartis les centres de tri visités par regroupement géographique, ainsi :

- La Région de Montréal regroupe les régions administratives de Montréal, de Laval, de Lanaudière et des Laurentides. Elle compte 15 centres de tri, dont 6 ont été rencontrés.
- La Région de Québec couvre les régions administratives de la Capitale nationale, de Chaudière-Appalaches, de la Mauricie et du Centre-du-Québec. Elle regroupe 14 centres de tri de débris de CRD, dont 5 ont été visités.
- La Région de la Montérégie couvre les régions administratives de la Montérégie et de l'Estrie. Elle compte 11 centres de tri, dont 6 ont été rencontrés.
- La Région de la Périphérie rassemble les autres régions administratives et elle regroupe 13 centres de tri, dont 4 ont été considérés.

Le tableau 1 résume la répartition des centres de tri selon les zones géographiques.

¹ Aussi appelés « particules fines ».

² Voir la liste des centres de tri de débris de CRD à l'annexe 1.

Tableau 1 : Regroupements des centres de tri selon les zones géographiques

Région administrative	Regroupement en zone géographique	Nombre de centre de tri (visités/total)
06 — Montréal	Région de Montréal	6/15
13 — Laval		
14 — Lanaudière		
15 — Laurentides		
03 — Capitale nationale	Région de Québec	5/14
04 — Mauricie		
12 — Chaudière-Appalaches		
17 — Centre-du-Québec		
05 — Estrie	Région de la Montérégie	6/11
16 — Montérégie		
01 — Bas-Saint-Laurent	Région de la Périphérie	4/13
02 — Saguenay-Lac-Saint-Jean		
07 — Outaouais		
08 — Abitibi-Témiscamingue		
09 — Côte-Nord		
10 — Nord-du-Québec		
11 — Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine		

1.2 PORTRAIT DES CENTRES DE TRI RENCONTRÉS

Selon les renseignements recueillis, les centres de tri de débris de CRD qui ont été rencontrés reçoivent chacun entre 15 000 et 300 000 tonnes de matières résiduelles annuellement. Pour l'ensemble de ces centres de tri, ceux-ci accueillent plus de 1,2 million de tonnes de débris de CRD à leurs installations. Le tableau 2 présente les quantités récupérées en fonction des zones géographiques pour les centres de tri de débris de CRD rencontrés.

Tableau 2 : Quantités de débris de CRD et de résidus de criblage fin produits par les centres de tri visités

Zone géographique	Quantité annuelle de débris de CRD reçues	Quantité annuelle de résidus de criblage fin générées
Région de Montréal	311 590 t	87 700 t
Région de Québec	259 120 t	64 510 t
Région de la Montérégie	570 160 t	104 560 t
Région de la Périphérie	95 000 t	25 400 t
TOTAL — Centres de tri visités	1 235 870 t	282 170 t

Ces centres de tri de CRD rencontrés produisent 282 000 tonnes de résidus de criblage fin durant le processus de tri et de conditionnement des débris de CRD. En moyenne, ces résidus composent 26 % des extraits des centres de tri. Le tableau 3 présente les données statistiques pour les résidus de criblage fin.

Tableau 3 : Proportion de résidus de criblage fin produits par les centres de tri

Analyse statistique	Proportion de résidus de criblage fin dans les centres de tri visités
Moyenne	26 %
Minimum	7 %
Maximum	47 %
Médiane	20 %
Écart-type	10 %

Voici quelques constats en rafale :

- En règle générale, les centres de tri de débris de CRD reçoivent des matières résiduelles provenant autant du secteur résidentiel que de ceux des secteurs des institutions, des commerces et des industries (ICI). Que ce soit des débris de la construction, de la rénovation ou de la démolition, les centres de tri ne font, habituellement, **pas de distinction précise entre les provenances**. La gestion des débris de CRD en provenance d'écocentres est généralement inférieure à 20 %.
- Plus de **82 % des centres de tri reçoivent des matières de façon pêle-mêle**, qui doivent faire l'objet d'un tri. La portion restante est déjà triée lorsqu'elle est réceptionnée. Cependant, dans certains cas, elle doit être triée de nouveau selon les exigences des recycleurs.
- Seulement **20 % des centres de tri rencontrés effectuent un pré-tri du gypse (2016)** au début des opérations. La mécanisation du début de la chaîne ne favorise pas ce pré-tri à moins de l'avoir prévu à cette fin. Cette tendance tend à s'accroître avec les exigences de plus en plus précises à cet effet de certains LET.
- Généralement, les **particules fines sont entreposées à l'extérieur**, en tas. Seulement, 30 % des centres de tri rencontrés entreposent les résidus de criblage fin à l'intérieur (dont 3 centres de tri le font exclusivement à l'intérieur). Il n'y a pas d'exigences légales à l'entreposage intérieur.
- 67 % des centres de tri rencontrés évacuent les particules fines produites dans un **délai inférieur à 3 jours**.
- Le **fonctionnement des centres de tri est similaire d'un centre de tri à l'autre**. Généralement, ils reçoivent les débris dans une aire de réception où les plus gros débris sont extraits à l'aide d'un bras mécanique muni d'un grappin³. Par la suite, les matières résiduelles sont broyées grossièrement afin d'en faciliter le tri et le conditionnement. Les débris sont séparés par des procédés de tamisage et des tables de tri mariant les systèmes mécaniques et manuels. Généralement, la mécanisation des procédés de tri et de conditionnement est de plus en plus croissante avec la taille des centres de tri. **Dans les**

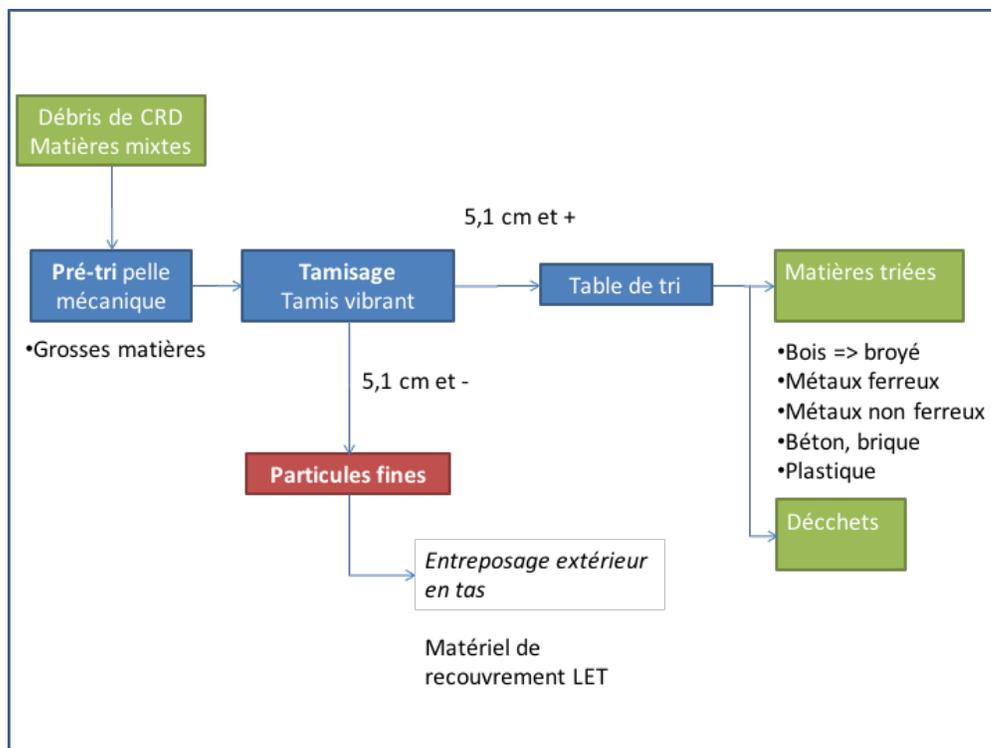
³ 81 % des centres de tri de débris de CRD visités font un pré-tri pour extraire les gros objets.

centres de tri de taille modeste, le niveau de mécanisation reste faible. Il augmente avec le volume de débris de CRD reçu.

- Les résidus de criblage fin sont générés lors du tamisage des débris de CRD. Ceux-ci peuvent être produits au début du processus, après le broyage, ou à la fin du procédé lorsque l'on tamise les résidus. Dans la plupart des cas, les résidus de criblage fin sont générés au début du procédé de tri et de conditionnement de la matière afin de réduire le niveau de poussières dans le centre de tri.
- Les tamis utilisés ont des mailles variant entre 1,6 cm et 7,6 cm. La majorité utilise des tamis de 5,1 cm et moins⁴. **58 % des centres de tri utilisent des tamis de 5,1 cm.**
- Il a été constaté que certains centres de tri broyaient les matières non valorisables pour les incorporer dans les résidus de criblage fin et que, dans certains cas, les poussières des dépoussiéreurs y étaient aussi incorporées. Cette pratique augmente la quantité de résidus de criblage fin générés et diminue celles des matières résiduelles qui devraient être éliminées dans des lieux autorisés.

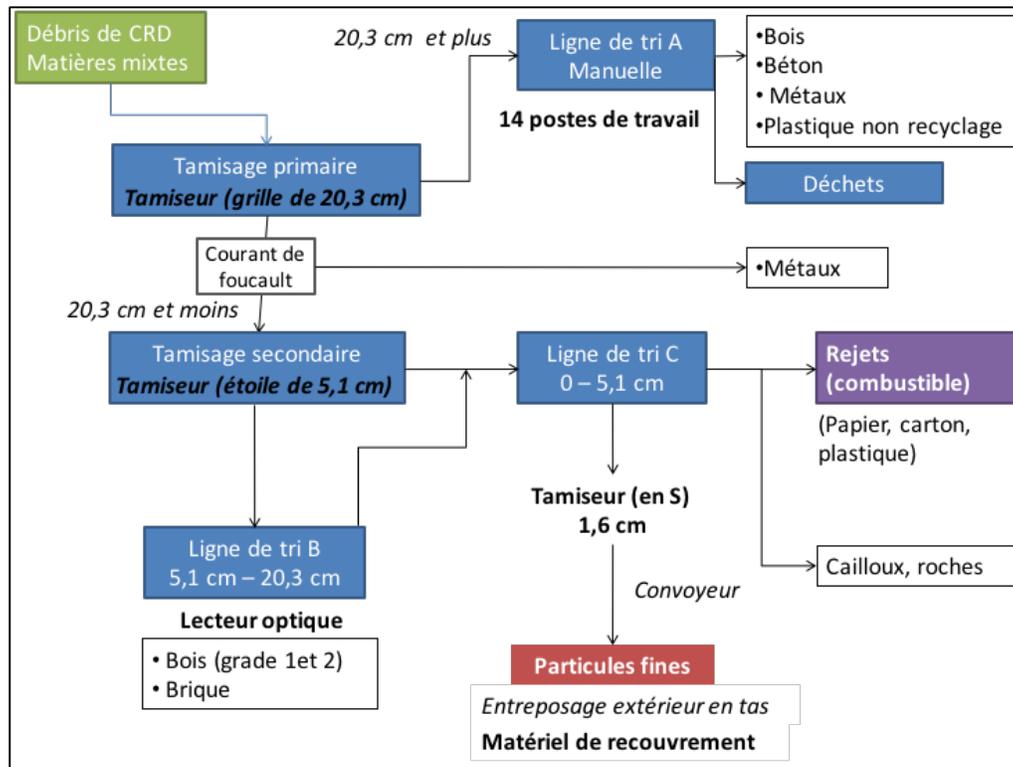
Les figures 1 et 2 illustrent les schémas simplifiés des processus de tri et de conditionnement pour des centres de tri de débris de CRD de petite et de grande capacité.

Figure 1 : Schéma simplifié des processus de tri et de conditionnement pour un centre de tri de débris de CRD de petite capacité



⁴ La taille varie entre 5/8 pouce et 3 pouces. La moyenne est de 2 pouces.

Figure 2 : Schéma simplifié des processus de tri et de conditionnement pour un centre de tri de débris de CRD de grande capacité



Les centres de tri de débris de CRD visités produisent annuellement entre 3 000 et 52 000 tonnes de résidus de criblage fin dans leurs installations, pour un total de 282 000 tonnes (tableau 2). La proportion de résidus de criblage fin générée est généralement semblable d'un centre de tri à l'autre, même si le processus de tri et de conditionnement est différent. Pour certains types de broyeurs, le broyage en amont du processus de tri et de conditionnement et le pré-tri sont des facteurs qui augmentent les quantités de résidus de criblage fin. La composition de ces résidus est fonction de la saison et de la provenance des débris de CRD. Il est difficile d'isoler un secteur en particulier. De plus, il a été constaté que **la grosseur des mailles des tamis a une influence sur la composition des résidus de criblage fin.**

Le tableau 4 présente les données statistiques sur les quantités annuelles de débris de CRD reçues et les résidus de criblage fin produits dans les centres de tri rencontrés.

Tableau 4 : Quantités de débris de CRD et de résidus de criblage fin générées par les centres de tri rencontrés

Analyse statistique	Quantité annuelle de débris de CRD mixtes reçue	Quantité annuelle de résidus de criblage fin générée
Moyenne	58 851 t	13 437 t
Minimum	15 000 t	3 000 t
Maximum	300 000 t	52 500 t
Médiane	33 809 t	8 000 t
Écart-type	66 246 t	12 664 t

L'écart-type démontre que la variation est un peu plus importante au niveau des quantités de résidus de criblage fin produites (1,12) que celles des débris de CRD reçues annuellement (0,94). L'analyse de la médiane indique également que 50 % des centres de tri visités reçoivent annuellement moins de 35 000 tonnes de débris de CRD mixtes et produisent moins de 8 000 tonnes de résidus de criblage fin par année.

1.3 PORTRAIT À L'ÉCHELLE DU QUÉBEC

En extrapolant les résultats de l'enquête pour l'ensemble du Québec, on arrive à dresser le portrait des quantités de débris de CRD reçues dans les centres de tri et celles des résidus de criblage fin qui sont produites dans les processus de tri et de conditionnement de cette matière. Ainsi, on estime qu'environ 1,5 million de tonnes de débris de CRD sont reçues dans les centres de tri au Québec⁵.

Selon les informations provenant des lieux d'élimination et compilées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 369 880 tonnes de résidus de criblage fin ont été utilisées comme matériel de recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement technique (LET) et les LEDCD⁶ en 2014. En compilant les résultats des centres de tri de débris de CRD rencontrés, on constate que 97 % des résidus de criblage fin sont utilisées comme matériel de recouvrement dans des LET et des LEDCD. La figure 1.1 présente la répartition géographique de l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les LET et les LEDCD en 2014.

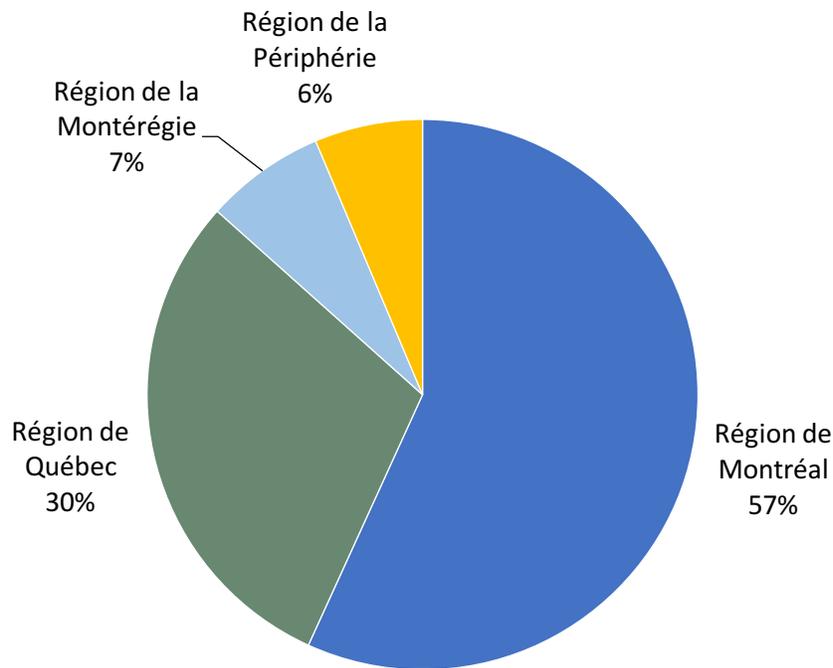
En se basant sur les recherches réalisées, les informations recueillies auprès des centres de tri et les données du MDDELCC, on présume qu'environ 380 000 tonnes de résidus de criblage fin sont produites annuellement⁷ au Québec.

⁵ Le total des centres de tri rencontrés (1,2 million de tonnes/an pour 21 centres de tri) a couvert 80 % de toutes les quantités de débris de CRD mixtes traitées au Québec pour l'année 2014.

⁶ Lieu d'enfouissement de débris de construction et de démolition.

⁷ En considérant que 97 % des résidus de criblage fin sont utilisées comme matériel de recouvrement.

Figure 3 : Répartition de l'utilisation de résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les LET et LEDCD



C'est dans la Région de Montréal que l'on retrouve la plus grande partie des résidus de criblage fin utilisée comme matériel de recouvrement dans les LET. C'est aussi dans cette région que les plus grands LET sont implantés. La Région de Québec suit, avec un peu plus que la moitié des résidus de criblage fin utilisée dans la Région de Montréal. Les Régions de la Montérégie et de la Périphérie suivent avec 7 et 6 % des quantités produites au Québec.

Depuis 2015, la situation s'est modifiée en ce qui concerne l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les LET. Le ministère a constaté que le gypse contenu dans les résidus de criblage fin pouvait contribuer à la production de H₂S en présence d'eau, de matières organiques et de conditions anaérobiques. Cette situation a engendré des rejets de contaminants dans l'atmosphère au point d'incommoder les résidents habitant à proximité de ces lieux. En conséquence, les autorités gouvernementales réduisent les autorisations pour utiliser les résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement journalier dans les LET. De plus, certains propriétaires de LET restreignent davantage cette utilisation au point que certains centres de tri doivent accumuler les résidus de criblage fin sur leur propriété ou les éliminer dans des lieux autorisés comme matières résiduelles.

2 ÉTAT DE LA SITUATION AU CANADA ET AUX ÉTATS-UNIS

Plus d'une quarantaine d'organismes ont été contactées dans le but d'établir le portrait des initiatives de valorisation des résidus de criblage fin dans les autres provinces canadiennes et dans quelques états américains. Une série de fiches descriptives est jointe à l'annexe 2.

Globalement, peu ou pas d'initiatives de valorisation ont été répertoriées. D'ailleurs, une étude similaire à celle-ci est en cours aux États-Unis.

2.1 ONTARIO

L'Ontario n'a pas de lignes directrices, de politique ou de règlement concernant exclusivement la gestion des résidus de criblage provenant des centres de tri des débris de CRD. Il n'y pas de comptabilisation des quantités générées des résidus de criblage fin de ces centres de tri.

Par contre, il existe des lignes directrices pour l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les lieux d'enfouissement. Cependant, cette alternative est appelée à disparaître puisque les lieux d'enfouissement utilisent de plus en plus de bâches en plastique résistantes, qui font office de recouvrement journalier. C'est une façon de faire face aux problèmes causés par la présence de gypse dans les résidus de criblage. Il en coûte entre 20 \$ et 30 \$ pour éliminer des résidus de criblage fin dans un lieu d'enfouissement.

Le cadre réglementaire fait en sorte que, pour l'instant, il n'y a aucun autre usage possible pour les résidus de criblage fin que l'utilisation comme matériel de recouvrement ou l'enfouissement. Dans certains cas, on mélange les résidus de criblage fin à un sol de meilleure qualité pour diminuer la concentration des contaminants et faire du remplissage.

Les efforts de recherche de solutions alternatives demeurent confidentiels et il ne semble pas y avoir d'initiatives de partage de connaissance sur les alternatives de recyclage des résidus de criblage fin.

2.2 FLORIDE

Selon les lignes directrices de gestion des résidus de criblage fin de l'État de la Floride, le matériel récupéré des opérations de tamisage dans les centres de tri de CRD fait référence aux particules fines qui sont constituées de terre et d'autres matières de petite taille. Celles-ci seraient issues des opérations de tri et de conditionnement des débris de CRD et qui ont été tamisées par un tamis de 1,9 cm ou moins.

Dans le contexte réglementaire général de la Floride, le propriétaire d'une entreprise produisant des résidus de criblage fin doit prouver l'inoffensivité de ces résidus à l'égard de la santé humaine afin d'obtenir l'autorisation

du *Florida Department of Environmental Protection* pour leur valorisation. Une série de critères doit être respectée et une méthodologie d'échantillonnage et d'analyse est décrite dans les lignes directrices. La concentration de contaminants potentiels doit respecter un seuil prédéterminé afin que les particules fines puissent être utilisées à d'autres fins que le recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement. Selon l'usage prévu⁸, les critères à respecter à l'égard de la santé humaine varient. Les usages ne nécessitant pas la conduite d'analyses sur les impacts sur la santé humaine prévues dans les lignes directrices sont les suivants :

- Encapsulation permanente (production d'asphalte et de béton) ;
- Recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement ;
- Utilisation sous deux pieds de matériel de recouvrement dit « propre ».

Plusieurs études et analyses ont été réalisées en Floride sur les débris de CRD et les résidus de criblage fin. Les opportunités suivantes furent identifiées par les intervenants consultés :

- Remplissage et nivelage (impliquant un mélange des résidus avec de la terre) ;
- Ajout cimentaire ou ajout dans la production d'asphalte ;
- Encapsulation dans le béton ;
- Utilisation dans la construction de fondation pour résidence ou routes ;
- Production d'éléments décoratifs (pots pour plantes en mélange avec du béton).

Cependant, les obstacles suivants furent également identifiés par les intervenants consultés :

- L'utilisation des résidus de criblage fin dans la production de béton diminue la densité et la résistance (MPa) à la compression du béton et le produit fini peut difficilement être vendu ;
- L'utilisation des résidus de criblage fin pour la fondation de résidence diminue la valeur des propriétés ;
- L'encapsulation dans le béton est une procédure dispendieuse qui rend la valorisation des résidus de criblage fin non rentable ;
- La gestion de la production d'éléments décoratifs demande beaucoup de temps et de ressources et la rentabilité est difficilement atteinte étant donné les grandes quantités de résidus de criblage fin à valoriser et les petites quantités entrant dans la production d'éléments décoratifs ;
- Un manque d'éducation sur la réelle toxicité des résidus de criblage fin, par la population en général, rend leurs usages alternatifs difficiles du point de vue de l'acceptabilité sociale.

Le contexte réglementaire plus souple permet, en théorie, la gestion au cas par cas des opportunités de valorisation de résidus de criblage fin. Cependant, il n'existe pas de règlement régissant la valorisation des particules fines. Dans certains cas, des opportunités de valorisation sont présentes en Floride et certains intervenants sont en mesure de les saisir. Il reste que la méthodologie et les analyses à réaliser pour autoriser l'utilisation des particules fines à d'autres usages que le recouvrement dans les lieux d'enfouissement engendre

⁸ Usage résidentiel, commercial ou industriel.

des coûts qui ne peuvent pas être assumés par les petits exploitants. En conséquence, le recouvrement dans les lieux d'enfouissement est la méthode la plus répandue d'élimination des résidus de criblage fin.

2.3 CALIFORNIE

En Californie, les résidus de criblage fin peuvent être utilisés comme matériel de recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement. L'utilisation de différentes matières pour cet usage dans ces sites repose sur un cadre réglementaire⁹, mais celui-ci reste encore à structurer pour l'utilisation des résidus de criblage fin provenant de centres de tri de déchets de CRD.

Onze matériaux de recouvrement journalier sont acceptés par CalRecycle¹⁰, dont les déchets de CRD transformés. Tous les types de matériaux de recouvrement doivent être approuvés par une autorisation avant leur utilisation dans un lieu d'enfouissement. Faisant partie des onze types de matériaux pré-approuvés, les déchets de CRD utilisés comme matériel de recouvrement sont considérés comme étant recyclés et non pas éliminés. Le cadre réglementaire actuel permet donc à l'agence californienne de procéder au « cas par cas » et d'exiger certaines modalités d'application selon le lieu d'enfouissement et selon les types de matériaux de recouvrement utilisés. Dans plusieurs cas, il est exigé que les résidus de criblage fin soient recouverts de 7,6 cm de terre ou de sol.

Chaque lieu d'enfouissement doit faire l'inventaire quotidien de l'utilisation de tous les types de matériaux de recouvrement qu'il utilise, leur origine et les quantités utilisées. L'utilisation abusive de matériaux de recouvrement est considérée comme de l'élimination et non pas de la valorisation.

Plusieurs juridictions californiennes ont adopté des décrets ou des règlements établissant des objectifs de récupération et de recyclage obligatoires pour différents types de matières résiduelles destinées aux centres de tri. Les intervenants consultés ont indiqué la nécessité de recycler les résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les lieux d'enfouissement. Les exigences gouvernementales augmentent donc la nécessité de trouver des alternatives au recyclage de ces résidus.

2.4 MASSACHUSETTS

Il n'existe pas de cadre légal pour la gestion des résidus de criblage fin provenant des activités de tri et de conditionnement de déchets de CRD au Massachusetts. Le MassDEP se donne le droit de limiter l'usage de certains matériaux de recouvrement pour des questions d'efficacité et de santé publique. Une demande doit être faite au MassDEP, en conformité avec le programme sur les usages bénéfiques de déchets spéciaux, pour l'usage de résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement. La procédure à suivre est stipulée dans la réglementation sur la gestion des matières résiduelles¹¹ et dans les lignes directrices du programme sur les usages bénéfiques de déchets spéciaux. Des analyses sur la composition chimique et sur la capacité des résidus

⁹ CalRecycle, 2015

¹⁰ Agence gouvernementale de la Californie : California Department of Resources Recycling and Recovery

¹¹ 310 CMR 19 :000, partie 1

de criblage fin à remplir les fonctions d'un matériel de recouvrement conforme à la réglementation sont requises.

Les particules fines utilisées comme matériel de recouvrement ne sont pas considérées éliminées ou recyclées. En conséquence, des quantités importantes de résidus de criblage fin sont envoyées à l'enfouissement à l'extérieur de l'État. Depuis le 1^{er} avril 2006, l'État du Massachusetts a banni des lieux d'enfouissement les débris d'asphalte, de brique, de béton, de métal, de bois (traité et non traité) et les feuilles de gypse propres¹².

Selon l'étude de caractérisation réalisée en 2007, le seul usage possible des résidus de criblage fin est le recouvrement journalier ou l'utilisation dans les travaux de nivellement et profilage de lieux d'enfouissement technique. La production de sulfure d'hydrogène (H₂S) causée par la présence de gypse dans ces résidus pourra obliger les gestionnaires de lieux d'enfouissement à mettre en place des équipements de contrôle des émanations de sulfure d'hydrogène dont les coûts sont plus importants à court terme que les économies réalisées par l'utilisation des résidus de criblage fin des centres de tri de débris de CRD, plutôt qu'un autre type de matériel (sol, terre) plus coûteux.

Les difficultés associées au recyclage des résidus de criblage fin augmentent le coût des activités de tri et de recyclage des débris de CRD. Par ailleurs, le bannissement du bois des lieux d'enfouissement encourage les différentes parties prenantes de la gestion de ces débris à financer et à participer à des recherches sur des alternatives pour le recyclage des résidus de criblage fin qui sont eux aussi en partie composés de bois. Il est possible que la définition d'un processus d'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement dans les lieux d'enfouissement implique l'instauration d'exigences reliées à :

- La séparation du gypse des autres débris de construction et de démolition ;
- L'addition de terre ou de sol aux résidus de criblage fin ;
- La taille des tamis requis pour la production de résidus de criblage fin pouvant servir de matériel de recouvrement.

Des pressions importantes sont exercées par les gestionnaires de centre de tri de débris de CRD afin que les autorités acceptent que les résidus de criblage fin des centres de tri puissent être utilisés comme matériel de remplissage dans les anciennes gravières et les mines. Jusqu'à maintenant, les autorités considèrent qu'il ne s'agit pas d'un usage approprié de ce type de déchets considérant les risques potentiels pour la santé humaine.

Il est envisagé d'instaurer de nouvelles exigences qui permettront d'assurer que les résidus de criblage fin puissent être utilisés comme matériel de recouvrement et de nivellement sans causer de problèmes, ce qui rendra cette alternative de moins en moins intéressante pour les lieux d'enfouissement.

¹² Depuis 2011.

2.5 MINNESOTA

Au Minnesota, le seul usage reconnu pour les résidus de criblage fin est le matériel de recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement. Les résidus de criblage fin doivent être analysés par l'agence gouvernementale et approuvés pour utilisation en tant que matériel de recouvrement journalier. L'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement n'est pas reconnue comme une forme de recyclage par le Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) et il est le seul usage légal de réutilisation pour ces résidus. Aucun débris ou résidu de CRD contenant du gypse ne doit être utilisé comme matériel de recouvrement à moins que :

- Les débris de CRD ne soient pas pulvérisés ou déchetés avant qu'ils ne soient traités ou tamisés dans un centre de tri ;
- Les efforts nécessaires aient été réalisés pour retirer le gypse présent dans les débris de CRD ;
- Les débris de CRD utilisés comme matériel de recouvrement soient mélangés dans une proportion d'une partie de terre pour une partie de résidu, préalablement à l'application.

Selon une étude réalisée en 2007 sur la composition des débris de CRD, il existe deux méthodes connues de production de matériel de recouvrement journalier pour les lieux d'enfouissement à partir de débris de CRD qui influencent la composition :

- Broyage de débris de CRD une fois qu'un premier tri est effectué pour retirer le bois, les agrégats, les fibres et les métaux ;
- Tamisage de l'ensemble des débris de CRD reçus pour en retirer les particules fines obtenues.

La première méthode est maintenant interdite puisqu'elle a causé d'importants problèmes d'odeurs nauséabondes causés par les résidus de gypse en contact avec un environnement humide. La deuxième méthode ne permet pas d'éliminer complètement les résidus de gypse et contient une proportion importante de poussières, de terre et de particules de béton et de briques.

La provenance des débris de CRD influence sur la composition des résidus, ce qui aura un impact déterminant sur l'autorisation de l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement journalier. Toujours selon l'étude de 2007, les débris de construction sont composés à 16 % de particules fines, de terre ou de « saletés », tandis que cette proportion s'élève à 30 % pour les débris de démolition.

Le MPCA a choisi de considérer les résidus de criblage fin comme étant éliminés lorsqu'ils sont utilisés comme matériel de recouvrement en raison des problèmes liés aux odeurs causées par la présence de gypse dans ces résidus.

Des recherches sont en cours chez certaines entreprises gestionnaires de centres de tri de débris de CRD afin de développer de nouvelles filières de recyclage pour les résidus de criblage fin.

2.6 CONSTATS

Suite aux recherches et à la quarantaine d'entrevues réalisées concernant les pratiques des autres provinces et états américains, on constate que :

- Le contexte réglementaire a un impact important sur les opportunités de recyclage ou de valorisation des résidus de criblage fin ;
- Certaines alternatives (éléments décoratifs, mélange au ciment, encapsulation dans le béton, fondation, etc.) ne sont pas économiquement viables, même si elles respectent le cadre réglementaire en vigueur ;
- L'État de la Floride permet l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de remblaiement dans des carrières ou des sablières, sous certaines conditions ;
- Une recherche¹³ est en cours aux États-Unis, avec les mêmes objectifs que ceux poursuivis par le 3R MCDQ ;
- Le recouvrement journalier est remis en question dans plusieurs lieux d'enfouissement aux États-Unis et au Canada.

¹³ CDRA, 2017, Townsend, T.

3 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES RÉSIDUS DE CRIBLAGE FIN

3.1 RÉSULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE

Des échantillons ont été prélevés lors des visites des centres de tri de débris de CRD. Un total de huit installations a été échantillonné. Les échantillons prélevés ont été transportés immédiatement vers le laboratoire du CTTÉI à Sorel-Tracy. Ceux-ci ont été numérotés, afin que leur source soit inconnue lors des analyses.

À leur arrivée, les échantillons ont été placés dans un endroit réfrigéré afin de préserver leurs propriétés. Par la suite, tous les échantillons ont été séchés afin d'éviter que l'eau ne les détériore et leur granulométrie a été mesurée. Par contre, seuls les échantillons qui ont été analysés furent broyés tels que décrits à la figure 4.

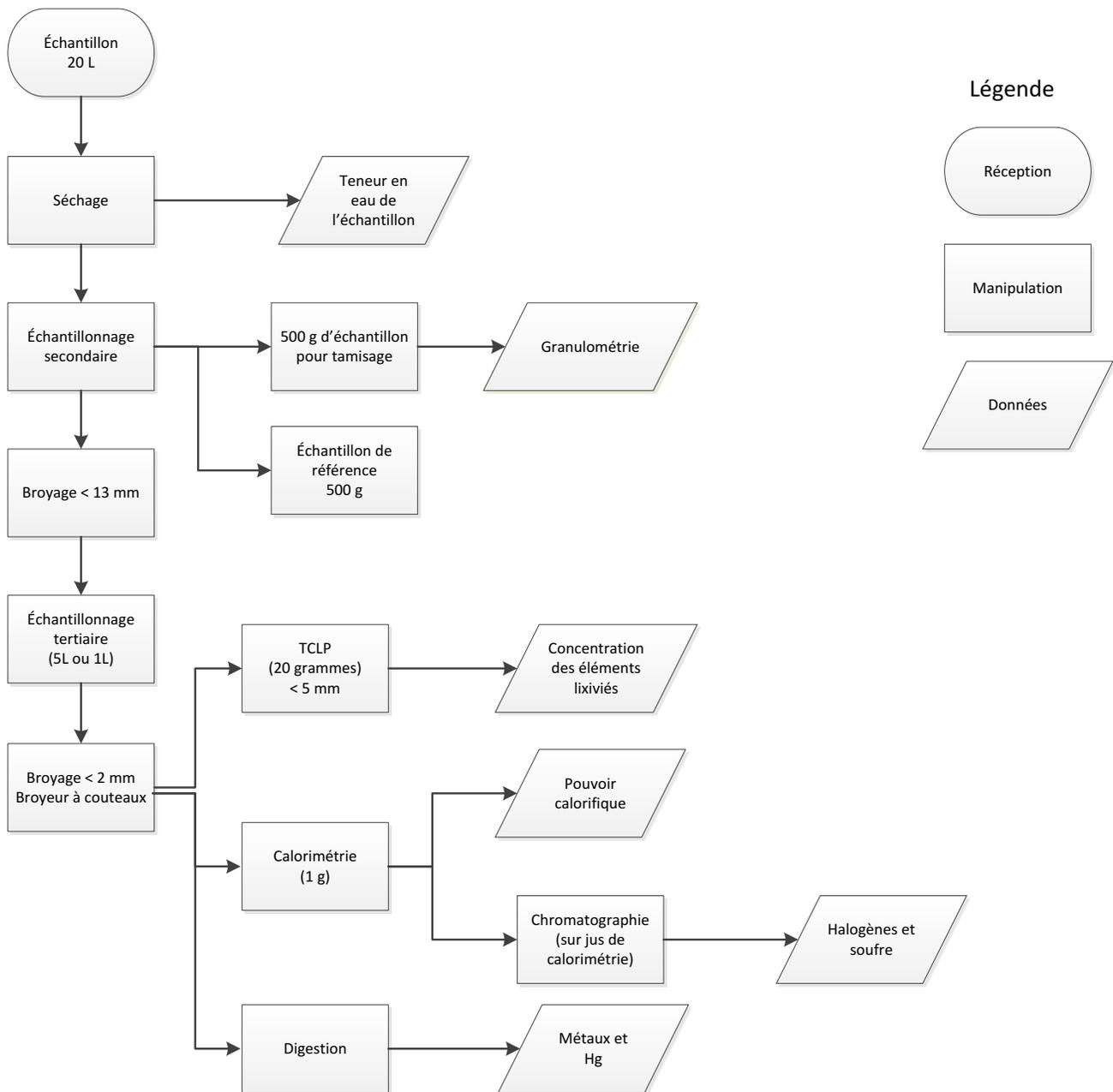
Puisque les échantillons sont hétérogènes, il est donc souhaitable de valider la reproductibilité des résultats en faisant les tests en triplicata. En contrepartie, cela diminue le nombre de sites pouvant être caractérisés, puisque le projet prévoit neuf spécimens à analyser (trois sites avec 3 échantillons par site). Les échantillons à analyser ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- Quantité de débris de CRD reçue au centre de tri ;
- Procédé de tri représentatif de l'industrie des centres de tri de CRD ;
- Collaboration du représentant du centre de tri de CRD ;
- Localisation du centre de tri de CRD.

La sélection retenue inclut le site où trois échantillons ont été prélevés. Les échantillons sélectionnés sont : 1, 6 et 8¹⁴.

¹⁴ Par souci de confidentialité, seules quelques personnes de Chamard stratégies environnementales connaissent la désignation des codes utilisés pour reconnaître les échantillons.

Figure 4 : Manipulations et analyses sur les échantillons

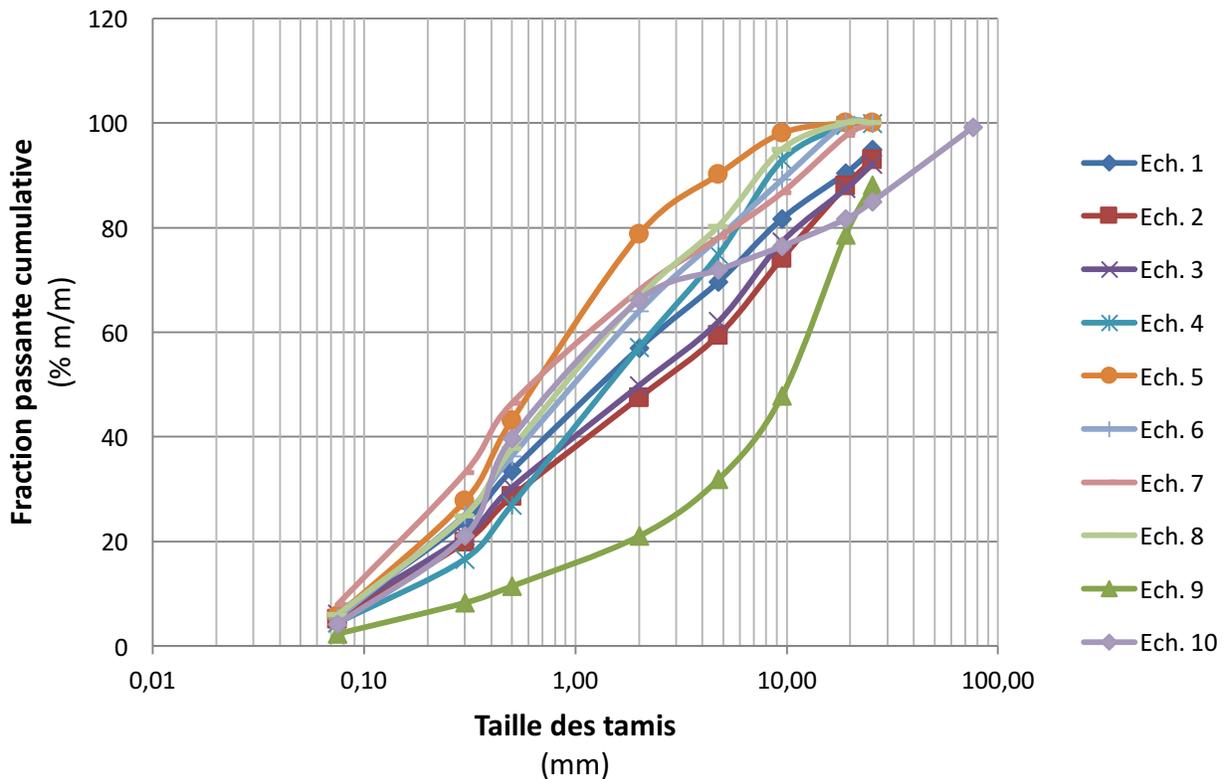


3.1.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique des échantillons de résidus de criblage fin de CRD permet de constater que **la plus grande portion de particules fines se situe entre 500 microns et 2 mm**, comme présenté à la figure 5. Par contre, les échantillons 5 et 7 contiennent plus de particules fines et l'échantillon 9 plus de particules grossières.

L'échantillon 10 est un cas particulier, puisqu'il est bimodal avec une concentration de particules à 2,5 cm¹⁵ et de résidus de criblage fin (<500 microns¹⁶). Les données brutes sont présentées à l'Annexe 4.

Figure 5 : Répartition granulométrique des résidus de criblage fin de CRD



En moyenne, il y a 92,3 % de la matière qui est inférieure à 1,9 cm¹⁷. Par contre, les échantillons 5, 6 et 8 sont à 100 %, donc ils ne contiennent aucun fragment supérieur à 1,9 cm.

3.1.2 Caractérisation visuelle des résidus de criblage fin

Une caractérisation visuelle des résidus de criblage fin a été réalisée au cours des analyses supplémentaires. Les résultats sont présentés au tableau 11. On constate une grande variabilité entre les échantillons, ce qui complique l'extrapolation à l'ensemble des résidus de criblage fin produits par les centres de tri de CRD. Dans tous les cas, le béton, la brique, la terre et la roche sont les éléments les plus importants en termes de poids. Le gypse est également très présent dans une bonne partie des échantillons. Cependant, la proportion varie du simple au triple. La proportion de bardeaux d'asphalte demeure importante avec, en moyenne, 8,2 % du poids.

¹⁵ 1 pouce.

¹⁶ 0,02 pouce.

¹⁷ ¾ pouce.

La portion des résidus de criblage fin supérieure à 4,75 mm est évaluée à 27,7 %. Un échantillon a moins de 10 % de résidus dans cette catégorie. Les autres échantillons ont des quantités supérieures à 30 %. Puisque les résidus de criblage ne proviennent pas d'un approvisionnement homogène, la moyenne des quatre échantillons pourrait être une meilleure indication sur la teneur des matières triées dans les matières fines.

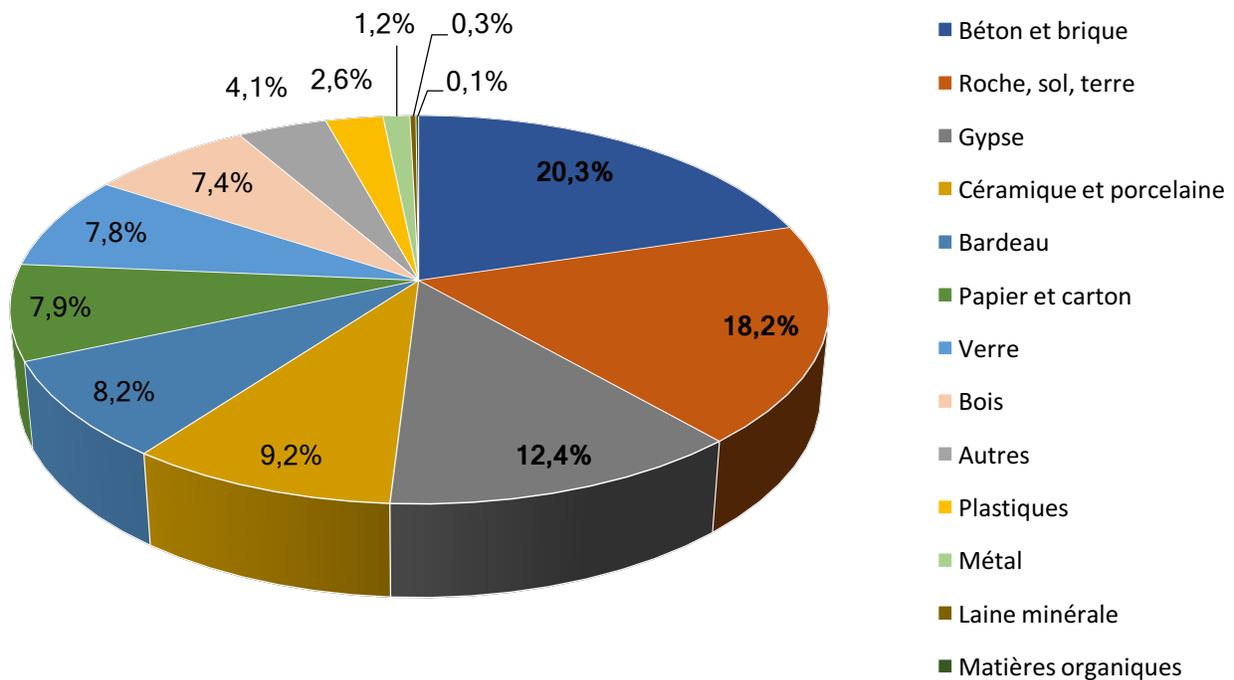
Tableau 5 : Résultats de la caractérisation visuelle des résidus de criblage fin¹⁸

Matières	%				
	Échantillon 1	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Moyenne
Bardeaux d'asphalte	9,2	4,4	10,6	8,7	8,2
Bois	6,8	7,4	11,4	4,2	7,5
Béton et brique	18,2	15,4	24,2	23,4	20,3
Céramique et porcelaine	4,4	15,0	1,8	15,7	9,2
Autres	2,0	0,9	1,0	0,5	1,1
Gypse	7,4	21,0	14,6	6,7	12,4
Laine minérale	0,0	0,6	0,4	0,1	0,3
Métal	0,3	0,8	0,3	3,5	1,3
Papier et carton	17,7	3,8	8,0	2,3	8,0
Plastique	2,6	1,8	5,8	0,3	2,6
Roche, sol, terre	22,6	19,6	7,6	23,2	18,2
Matières organiques	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1
Verre	8,9	9,3	2,1	11,1	7,8
« Fines entraînées »	0,0	0,0	12,0	0,0	3,0
<i>Total des matières dans la fraction >= 4,75 mm</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>
<i>% >= 4,75 mm de l'échantillon pour la granulométrie</i>	<i>9,7</i>	<i>31,0</i>	<i>35,1</i>	<i>35,2</i>	<i>27,7</i>
<i>% < à 4,75 mm de l'échantillon pour la granulométrie</i>	<i>90,3</i>	<i>69,0</i>	<i>64,9</i>	<i>64,8</i>	<i>72,3</i>
<i>Total des deux fractions</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>

La figure suivante illustre la composition des particules fines échantillonnées.

¹⁸ Compte tenu de la relative hétérogénéité des échantillons, il est difficile d'extrapoler ces résultats à l'ensemble des résidus de criblage fin.

Figure 6 : Composition des résidus de criblage fin



3.1.3 Analyses élémentaires

Les analyses élémentaires ont été réalisées en digestion acide et selon le protocole ICP. En général, le critère B de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés et le critère C2 du Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes sont respectés. Il y a des dépassements dans les niveaux de cuivre, de manganèse et de zinc avec le critère B de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Toutefois, il s'agit des résultats d'une seule analyse, les répétitions s'y conforment. Pour le critère C2 des MRF, le plomb est problématique dans un des résultats. L'ensemble des résultats se retrouve à l'Annexe 4.

3.1.4 Lixiviation

La lixiviation a été réalisée selon le protocole « Toxicity characteristic leaching procedure ». Les concentrations pour les éléments analysés sont largement inférieures au seuil spécifié par le *Règlement sur les matières dangereuses*¹⁹. Par contre, le bore, les cyanures totaux, les fluorures totaux, le mercure, les nitrates + nitrites et les nitrites n'ont pas été évalués à ce stade-ci du projet.

¹⁹ Concentrations maximales d'un contaminant dans une matière liquide ou dans le lixiviat d'une matière solide.

3.1.5 Calorimétrie, halogènes et soufre

La valeur calorifique des résidus de criblage fin de débris de CRD analysées est très faible²⁰. Les cimenteries visent habituellement un pouvoir calorifique d'environ 13 000 kJ/kg, ce qui est largement supérieur à ce que l'on obtient avec les résidus de criblage fin de CRD.

Pour ce qui est du soufre, il est largement supérieur aux normes pour le critère de sol, mais il pourrait être possible de faire un test de génération d'acide pour valider certaines voies de valorisation.

3.1.6 Teneur en eau et perte au feu

La teneur en eau est très variable puisque les résidus de criblage fin de débris de CRD sont entreposés à l'extérieur (moyenne 16,12 %, minimum 8,08 %, maximum 31,08 %). Le test de perte au feu consiste à chauffer un échantillon à 550°C pendant plusieurs heures et déterminer la perte de masse subie. La moyenne de la perte au feu est de 3,72 %, ce qui implique que les résidus de criblage fin de débris de CRD sont composés d'environ 96 % de matière inorganique.

3.1.7 Autres analyses

Des analyses complémentaires ont été réalisées concernant le formaldéhyde sur la fraction grossière, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés phénoliques, les hydrocarbures pétroliers (C₁₀-C₅₀) et les sulfates sur la fraction fine et des essais de dureté. Les résultats détaillés de ces analyses sont présentés à l'Annexe 4. Voici les principaux constats :

- Les teneurs en **formaldéhyde** se situent dans la plage A-B des critères de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Le formaldéhyde est présent en raison, principalement, de la présence de produits en bois aggloméré dans les débris de CRD livrés aux centres de tri de CRD.
- Il a été constaté que certains composants des **HAP** étaient supérieurs au critère C de cette politique. Dans la plupart des cas, ceux-ci correspondent à la présence de résidus de bardeaux d'asphalte ou d'asphalte dans les portions plus fines des résidus de criblage fin des CRD. Seul l'échantillon 5 respectait le critère B de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.
- Pour les **composés phénoliques**, les essais ne sont pas concluants en raison d'un problème d'échantillonnage et, en conséquence, il faudrait reprendre l'analyse pour les composés phénoliques totaux. La moitié des échantillons ne respectent pas le critère C de la politique pour les hydrocarbures pétroliers. Ceci peut être dû à la présence de composés asphaltiques dans les résidus de criblage fin des CRD.

²⁰ La moyenne des résultats est d'environ 3 000 kJ/kg.

- Pour les **sulfates**, l'ensemble des échantillons dépasse le critère C de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Ce dépassement est probablement dû à la présence de gypse²¹ dans la fraction fine des résidus de criblage fin des CRD.
- Les essais sur la **dureté** et les exigences comme abrasif routier démontrent que les résidus de criblage fin ne sont pas adéquats pour une telle utilisation. Il faudrait tamiser davantage ces résidus et séparer certaines fractions, ce qui peut être onéreux compte tenu de la valeur sur le marché de ces abrasifs.

3.2 ANALYSES REÇUES DES CENTRES DE TRI LORS DES VISITES

Certains centres de tri de débris de CRD ont accepté de transmettre les résultats des analyses réalisées sur leurs résidus de criblage fin. Le tableau 5 présente le type d'analyses reçues par ces centres de tri (codifié de A à F).

Tableau 6 : Analyses physicochimiques reçues par certains centres de tri de débris de CRD

Type d'analyse	Centre de tri					
	A	B	C	D	E	F
Granulométrie	15 sur 7 ans	2	2	1	1	
Test pour recouvrement	15 sur 7 ans	2	1	1	1	
ASTM D2434 (essai perméabilité charge constante)			1			
Composition élémentaire (métaux)	1					1
Composition en organiques (incluant produits pétroliers)	1					1
Test de compostage	1					

Les analyses ont été remises de façon confidentielle. Elles se retrouvent pour la plupart en annexe avec la codification A à F en référence au centre de tri d'origine.

3.2.1 Granulométrie

Il a été constaté qu'il n'y a pas de disparité significative pour les paramètres analysés par la CTTEI et les résultats obtenus par les centres de tri. La quantité de résidus de criblage fin inférieure à 1,9 cm est de 91,5 % en moyenne pour les données reçues par les centres de tri par rapport à 92,3 % pour les résultats du CTTEI. Par contre, la grosseur du tamis est un peu différente 20 mm (centres de tri) contre 19,05 mm (CTTEI). Il peut y avoir une grande disparité pour un même centre de tri. Par exemple, le centre de tri A obtient une valeur aussi basse que 61,5 % passant 20 mm alors que la majorité des autres résultats du même centre de tri pour la même taille de tamis sont près de 100 % passant. Cela semble confirmer que la **taille des résidus de criblage fin des CRD est variable pour un même centre de tri**. De plus, il ne faut pas oublier que le tamisage se fait en deux dimensions alors que les particules sont en 3 dimensions ; un morceau d'une longueur de plus de 1,9 cm, mais d'un diamètre inférieur à 1,9 cm peut soit passer dans le tamis ou non, selon son orientation.

²¹ Ou du béton, en moindre partie.

3.2.2 Analyses élémentaires

Les mêmes éléments (cuivre, plomb, soufre, zinc) identifiés par le CTTEI sont aussi supérieurs à certaines normes pour les centres de tri A et F. Dans les analyses du CTTEI, le manganèse a aussi été identifié, mais il n'est pas problématique pour le centre de tri F et il n'a pas été analysé pour le centre de tri A. De plus, l'arsenic, le cadmium, le mercure et l'étain sont supérieurs selon certaines normes pour les centres de tri A ou F.

La composition en matières organiques pourrait être problématique pour certaines solutions de mises en valeur. Il serait intéressant de valider si la concentration de ces contaminants organiques et inorganiques est constante dans toutes les strates granulométriques.

3.2.3 Perméabilité

Les tests de perméabilité et de gradient hydraulique n'ont pas été compilés puisqu'ils n'ont pas été mesurés par le CTTEI. Ce test est fait pour l'utilisation des résidus de criblage fin comme matériel de recouvrement de LEDCD et de LET et le présent mandat vise l'étude d'autres voies de mise en valeur. Selon les voies de mise en valeur sélectionnées à la suite de l'analyse de ces résultats, ces données pourront être analysées.

3.2.4 Test de compostage

Le test de compostage a été fait par le CRIQ²² et il a été conclu que le résidu de criblage fin testé ne peut pas se composter et qu'il ne peut pas servir d'amendement dans le compost²³. Il est important de spécifier que les résidus de criblage fin d'un seul gisement ont été analysés.

3.3 CORRÉLATION DES RÉSULTATS AVEC LES PROCÉDURES DE TRI UTILISÉES

Il est pertinent de corrélérer les résultats obtenus, notamment de la caractérisation, avec les procédures de tri des centres de tri échantillonnés. Le cas de l'échantillon 5 est le plus intéressant.

²² Centre de recherche industriel du Québec.

²³ Source : Analyse de résidus pour le compostage – Transmission des résultats, Dossier CRIQ no 640-PX40284 transmis au centre de tri A en 2009.

Cas de l'échantillon 5 — Deux échantillons analysés (2015 et 2016)

Procédure de tri

- Utilisation d'un tamis de 1,6 cm
- Pré-tri du gypse sur place, en amont de la table de tri
- Les bardeaux d'asphalte arrivent généralement déjà séparés, mais peuvent se retrouver sur la chaîne de tri

Résultats des analyses

- 4,4 % de bardeaux d'asphalte dans les fines (moyenne des centres de tri de 8,2 %)
- 21 % du gypse dans les fines (moyenne de 12,4 %)
- HAP : seul échantillon à atteindre le critère B de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* (dû à la présence moindre des bardeaux d'asphalte dans les fines – échantillon de 2016)
- Hydrocarbures pétroliers : dépasse le critère C de la politique (échantillon de 2015)
- Présence de sulfates dans la moyenne des autres échantillons et dépasse le critère C des de la politique

Constats

- Malgré un pré-tri, présence importante du gypse dans les fines
- En raison des différences entre les résultats des échantillons de 2015 et de 2016 pour les HAP et les hydrocarbures pétroliers, tout porte à croire que les proportions de bardeaux d'asphalte reçus doivent fluctuer grandement au centre de tri
- Globalement, il s'agit de l'échantillon présentant les caractéristiques les plus intéressantes, au niveau de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. De plus, c'est le seul centre de tri utilisant un tamis de 5/8 de pouce (1,6 cm)

Les centres de tri des échantillons 5 et 6 réalisent du pré-tri de gypse et pourtant, ce sont les deux cas où les plus grandes quantités de gypse furent remarquées (21 % et 15 %). Le caractère très friable des panneaux de gypse laisse croire que même avec un pré-tri, suffisamment de gypse peut être généré directement sur les chantiers. D'ailleurs, l'échantillon 6 montrait le plus de soufre total et de sulfates solubles à l'eau lors des analyses chimiques²⁴ (se référer aux résultats détaillés de l'Annexe 4).

²⁴ Soufre total : 57 814 mg/kg en moyenne, contre 37 275 mg/kg pour les autres échantillons testés (1, 6 et 8), Sulfates solubles à l'eau : 18 400 mg/kg contre 15 550 pour les autres échantillons testés (1, 5, 6 et 7).

4 FILIÈRES POTENTIELLES DE VALORISATION

Une fois réalisée l'analyse exploratoire des caractéristiques générales des particules fines, plusieurs voies de mise en valeur ont été évaluées. Puisque celles-ci ne présentent pas le même niveau d'effort pour être implantées et que les bénéfices économiques et environnementaux peuvent varier, il a été nécessaire de les départager. Les différentes pistes de mise en valeur ont été hiérarchisées en évaluant différents critères pour les efforts et les bénéfices :

4.1 CRITÈRES RELIÉS AUX EFFORTS

Un chiffre élevé indique un plus grand effort à fournir.

- Niveau de transformation nécessaire :
 - Lavage ou autre décontamination (3) ;
 - Broyage ou séchage (2) ;
 - Tamisage (1) ;
 - Tel quel (0).
- Maturité technologique :
 - R & D, long terme (3 ou plus) ;
 - R & D, moyen terme (2) ;
 - À tester, court terme (1) ;
 - Validée (0).
- Demande stable et continue :
 - Non (1) ;
 - Oui (0).
- Aspect réglementaire et acceptabilité sociale :
 - Demande de certificat d'autorisation (C.A.) et modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) ;
 - Demande de C.A. et modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) ;
 - Demande de C.A. (1) ;
 - Aucune (0).

4.2 CRITÈRES RELIÉS AUX BÉNÉFICES POTENTIELS

Un chiffre élevé indique des bénéfices plus importants.

- Retombées économiques :
 - Possibilité de vendre la matière (3) ;
 - Évite des coûts d'élimination (2) ;

- Équivalent au recouvrement journalier (- 20 \$/tonne) (1) ;
- Plus cher que le recouvrement journalier (0).
- Quantité écoulée²⁵ :
 - Élevée > 50 % (3) ;
 - Moyenne 10 à 50 % (2) ;
 - Basse < 10 % (1).
- Preneurs multiples :
 - Oui (1) ;
 - Non (0).
- Retombées environnementales :
 - Élevées (3) ;
 - Moyennes (2) ;
 - Faibles (1) ;
 - Nulles (0).

La proximité des débouchés par rapport au gisement n'a pas été considérée puisqu'on retrouve des centres de tri dans les différentes régions du Québec et que certaines voies sont plus régionalisées que d'autres. Ce critère ne peut donc pas être regardé globalement, puisqu'il est spécifique à chacun des centres de tri. L'acceptabilité sociale est aussi importante et elle a été incluse avec l'aspect réglementaire.

4.3 MARCHÉ POTENTIEL DE VALORISATION

Les prochains tableaux et graphiques présentent les résultats obtenus suite à l'évaluation des 12 voies de mise en valeur restantes en fonction des critères présentés ci-haut. Ces voies sont les suivantes :

1. Abrasif de voirie
2. Agriculture
3. Béton recyclé
4. Captation (SO₂, phosphore)
5. Ciment
6. Compost
7. Enrobés bitumineux - chaud
8. Enrobés bitumineux - froid
9. Litière
10. Matière de charge
11. Remplissage
12. Séquestration CO₂

²⁵ % des quantités annuelles de 300 000 tonnes/an.

Des fiches descriptives de ces voies de mise en valeur sont jointes à l'Annexe 3.

Les critères de cette analyse comparative ont été fixés au meilleur des connaissances de l'équipe de Chamard/CTTEI. Dans un premier temps, une évaluation où chaque critère possède la même importance²⁶ a été effectuée. Cette évaluation fut réalisée sans qu'une pondération soit faite entre les critères. Par la suite, les critères des efforts et des bénéfices ont été pondérés en fonction de leur importance relative à un contexte de mise en valeur des résidus de criblage fin des CRD.

- Efforts :
 - Transformation (35 %) ;
 - Maturité technologique (35 %) ;
 - Demande stable et continue (15 %) ;
 - Aspect réglementaire (15 %).

- Bénéfices :
 - Valeur en fonction du coût du matériel de recouvrement (35 %) ;
 - Quantité écoulée (35 %) ;
 - Preneurs multiples (15 %) ;
 - Retombées environnementales (15 %).

Le résultat des efforts à consentir pour la mise en valeur des résidus de criblage fin est présenté au tableau 6. Plus les efforts sont importants, plus le total des critères est élevé. On constate que les efforts à consentir sont moins importants pour les utilisations en cimenterie, comme abrasif routier et comme amendement en compostage.

Le résultat des bénéfices à retirer de la mise en valeur des résidus de criblage fin est présenté au tableau 7. Plus les bénéfices sont importants, plus le total des critères est élevé. Ainsi, on constate que l'utilisation comme abrasif routier ou dans le béton recyclé retire le plus de bénéfices, suivi de l'utilisation en agriculture, comme litière pour animaux et comme matériel de séquestration de CO₂. Cependant, d'autres critères peuvent aussi servir comme des utilisations possibles dans les autres juridictions.

Les résultats des tableaux 6 et 7 ont été portés sur un graphique (figure 6), ce qui permet de visualiser le positionnement des voies de valorisation les unes par rapport aux autres. En appliquant une pondération pour prioriser certains critères, on constate que les résultats diffèrent quelque-peu (figure 7).

²⁶ Donc sans pondération.

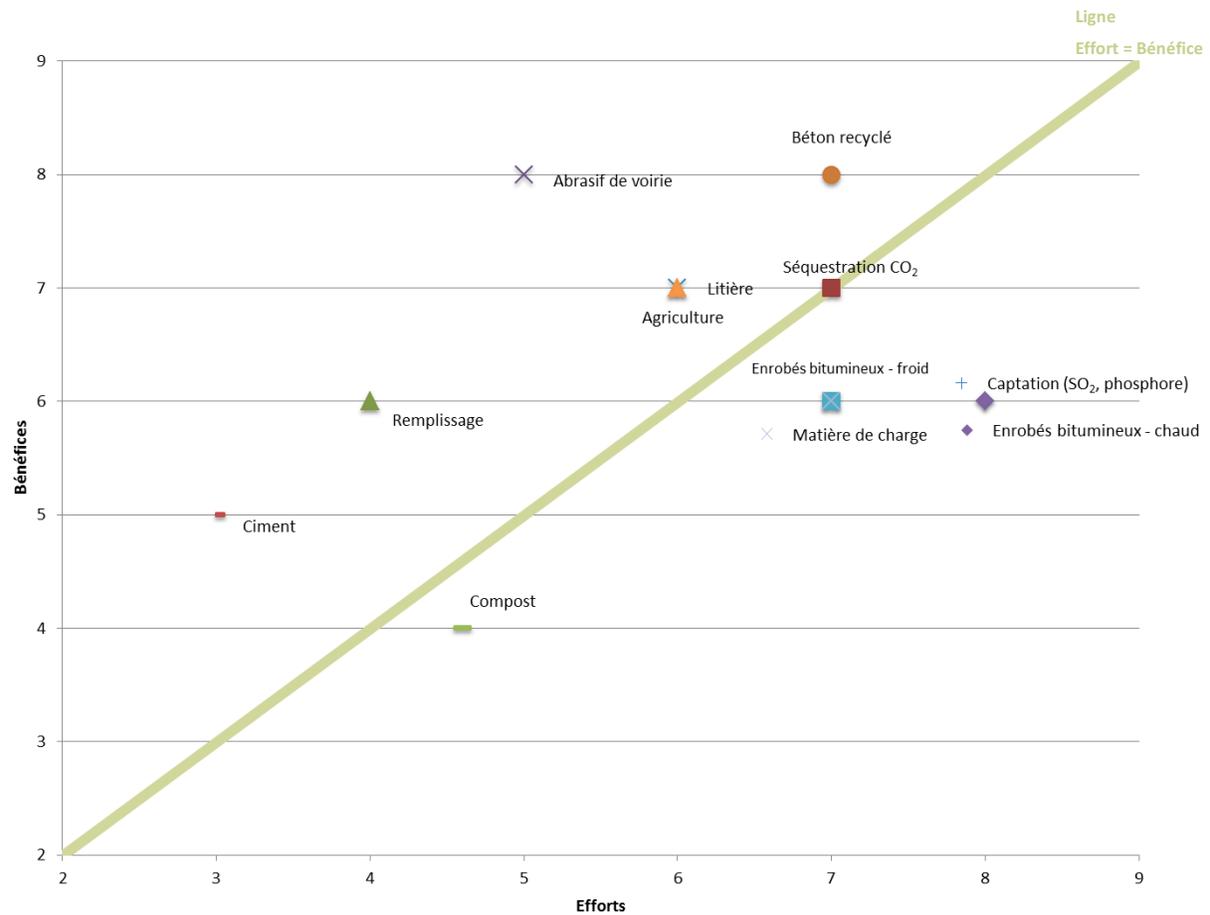
Tableau 7 : Effort pour les voies de mise en valeur des résidus de criblage fin de CRD

Voies de mise en valeur	Transformation				Maturité technologique				Demande stable et continue		Aspect réglementaire				TOTAL
	Très complexe (lavage ou autre décontamination)	Complexe (ex. : Séchage / Broyage)	Simple (ex. : tamisage)	Tel quel	R & D Long terme	R & D Court terme	À tester	Validée	Non	Oui	Modification et acceptation	Modification ou acceptation	C.A.	Aucun	
	3	2	1	0	3 ou plus	2	1	0	1	0	3	2	1	0	11
Abrasis de voirie			1				1		1			2			5
Agriculture			1				1		1		3				6
Béton recyclé		2			3					0		2			7
Captation (SO ₂ , phosphore)	3					2				0	3				8
Ciment			1				1			0			1		3
Compost			1				1			0	3				5
Enrobés bitumineux - chaud			1		3				1		3				8
Enrobés bitumineux - froid			1		3				1			2			7
Litière		2					1			0	3				6
Matière de charge	3					2				0		2			7
Remplissage			1				1		1		3				6
Séquestration CO ₂			1		4				1				1		7

Tableau 8 : Bénéfice pour les voies de mise en valeur des résidus de criblage fin de CRD

Voie de mise en valeur	Valeur en fonction du coût de matière de recouvrement				Quantité écoulee (% tonnage annuel) :			Preneurs multiples		Retombées environnementales				TOTAL
	Gain	Évite frais	Coût égal	> coût	Élevée >50 %	Moyenne 10 à 50 %	Basse < 10 %	Oui	Non	Élevées	Moyennes	Faibles	Nulles	
	3	2	1	0	3	2	1	1	0	3	2	1	0	
Abratif de voirie		2			3			1			2			8
Agriculture		2				2		1			2			7
Béton recyclé		2			3			1			2			8
Captation (SO ₂ , phosphore)			1			2		1			2			6
Ciment			1		3				0			1		5
Compost				0		2		1				1		4
Enrobés bitumineux - chaud			1			2		1			2			6
Enrobés bitumineux - froid			1			2		1			2			6
Litière	3						1	1			2			7
Matière de charge		2					1	1			2			6
Remplissage			1		3			1				1		6
Séquestration CO ₂		2				2		1			2			7

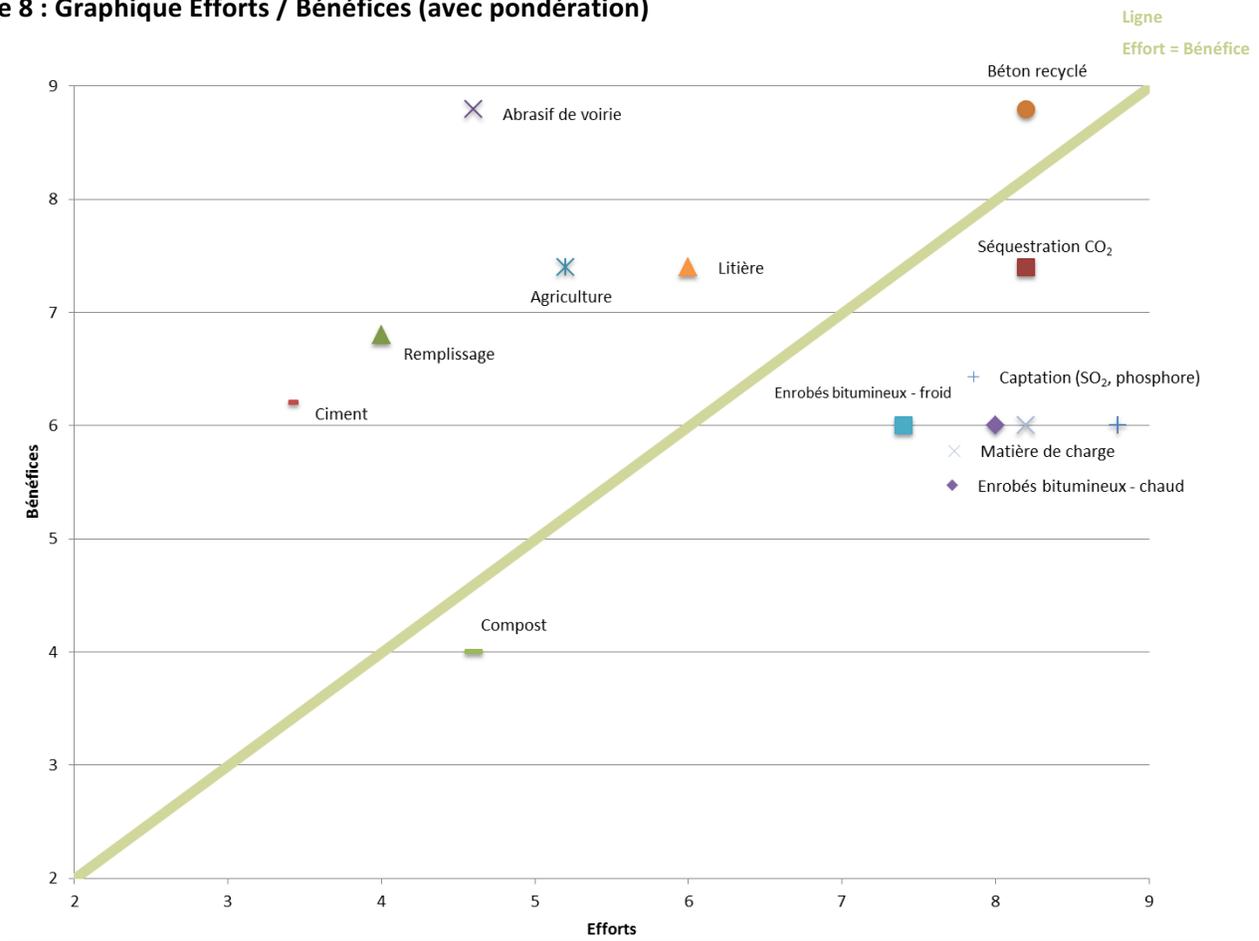
Figure 7 : Graphique Efforts / Bénéfices (sans pondération)



On constate que la majorité des utilisations potentielles exige des efforts importants pour que les bénéfices retirés soient aussi importants. L'utilisation dans les composts, en cimenterie et comme matériel de remplissage exigent les efforts les moins importants comptes tenus des bénéfices qui en découlent. À l'inverse, le béton recyclé, la litière et la séquestration du CO₂ demandent des efforts plus importants pour que les bénéfices soient intéressants.

En utilisant la pondération convenue, on constate que les résultats sont différents. Les efforts à consentir pour le maximum de bénéfices se retrouvent toujours pour le compost, en cimenterie, comme matériel de remplissage, en agriculture, comme litière pour animaux et comme abrasif de voirie. Par contre, le béton recyclé et la séquestration de CO₂ exigent des efforts importants pour en maximiser les bénéfices.

Figure 8 : Graphique Efforts / Bénéfices (avec pondération)



Afin de cibler les voies les plus avantageuses pour la mise en valeur des résidus de criblage fin de CRD, il faut favoriser celles qui ont un meilleur ratio Bénéfices/Efforts, soit celles situées à gauche ou sur la ligne des graphiques. Le tableau 10 synthétise les résultats précédents en fonction des facteurs de pondération. Ce qui permet d'effectuer un classement des solutions les plus prometteuses à analyser.

Tableau 9 : Classement des voies de mise en valeurs selon l'analyse des Bénéfices/Efforts

Voie de mise en valeur	Effort	Bénéfice	Ratio sans pondération	Ratio avec pondération
Abrasif de voirie	5	8	1,6	1,9
Ciment	3	5	1,7	1,8
Remplissage des carrières et sablières	4	6	1,5	1,7
Agriculture	6	7	1,2	1,4
Litière	6	7	1,2	1,2
Béton recyclé	7	8	1,1	1,1
Compost	5	4	0,8	0,9

Voie de mise en valeur	Effort	Bénéfice	Ratio sans pondération	Ratio avec pondération
Séquestration CO ₂	7	7	1,0	0,9
Enrobés bitumineux - froid	7	6	0,9	0,8
Enrobés bitumineux - chaud	8	6	0,8	0,8
Matière de charge	7	6	0,9	0,7
Captation (SO ₂ , phosphore)	8	6	0,8	0,7

Selon ce classement, **l'utilisation en cimenterie, comme abrasif de voirie et pour le remplissage (de sablières ou de carrières) se démarquent comme les débouchés les plus intéressants**, autant par leurs bénéfices importants que les efforts raisonnables demandés pour les mettre en œuvre. L'utilisation des résidus de criblage fin en agriculture et comme litière semble également des possibilités intéressantes. Toutefois, le débouché de la litière risque d'être particulièrement difficile à autoriser dû aux normes relatives au contact animal. Il existe déjà des résidus plus intéressants pour cette utilisation.

À la suite de ces résultats, il a été convenu de poursuivre avec des analyses complémentaires et en analysant la composition en fonction de la granulométrie des résidus de criblage fin des CRD. Il a été constaté que les différents matériaux qui composent les résidus de criblage fin ne se retrouvent pas uniformément dans les fractions grossières et fines des résidus. Ainsi, il y a lieu d'analyser davantage cet aspect qui pourrait faciliter la mise en valeur d'une partie de ces résidus.

5 FILIÈRES DE VALORISATION RETENUES

Après analyse des résultats obtenus, il a été convenu de retenir les filières suivantes pour le potentiel de mise en valeur des résidus de criblage fin des centres de tri de CRD. Des analyses supplémentaires ont dû être réalisées afin de valider certains paramètres spécifiques aux filières retenues :

- Abrasifs routiers
- Ajouts cimentaires
- Remplissage de carrières et sablières

5.1. ABRASIFS ROUTIERS

L'utilisation des résidus de criblage fin comme abrasif routier doit respecter certaines exigences, dont :

- Micro-Deval ≤ 35 % ;
- Granulométrie 0,16 à 5 mm ;
- Teneur en eau < 5 % ;
- Critère A de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* ;
- Critère B de cette politique pour les C₁₀-C₅₀ et les HAP.

Les résultats des analyses réalisés sur les échantillons démontrent :

- Micro-Deval : 48 %, supérieur à l'exigence ;
- Granulométrie : 0 à 40 mm, trop grossier ;
- Teneur en eau : 16 %, trop élevé ;
- Critère A de la politique concernant les terrains contaminés n'est pas atteint (formaldéhyde, teneur en sulfate soluble à l'eau et composés phénoliques) ;
- C₁₀-C₅₀ : 2 échantillons sur 4 se situent dans la plage des critères B-C et les 2 autres sont supérieurs au critère C de la politique ;
- HAP : un des échantillons (#5) atteint le critère B de la politique.

Dans ces conditions, il est difficile d'utiliser les résidus de criblage fin comme abrasif routier. Cependant, il serait toujours possible de les utiliser dans des régions qui ont des problématiques de rareté de cette matière sont connues. Pour ce faire, il faudrait :

- Un meilleur séchage de la matière et que son entreposage s'effectue à l'abri des intempéries.
- La fraction de 0,16 à 5 mm pourrait être utilisée comme abrasif. Donc, il faudrait tamiser davantage.
- Il y aurait lieu d'extraire les résidus de bois et de matières organiques qui pourraient être présents dans les particules fines.
- Et, finalement, il y aurait lieu de broyer séparément le béton et la céramique afin qu'ils puissent jouer le rôle d'abrasif.

5.2. AJOUTS CIMENTAIRES

Une des possibilités d'utilisation des résidus de criblage fin est son utilisation comme ajout cimentaire dans les fours des cimenteries. Cependant, ces résidus doivent respecter les critères suivants :

- Ne doit pas nuire à la qualité du ciment ;
- La teneur en matière organique ne doit pas dépasser 2 % au maximum ;
- La teneur en soufre ne doit pas dépasser entre 1,5 à 2 % au maximum ;
- La granulométrie doit être uniforme d'un arrivage à l'autre ;
- Moins de 5 % de teneur en eau ;
- Une certaine homogénéité dans la composition ;
- Une quantité minimale est requise (varie selon la cimenterie).

Les résultats des analyses démontrent que sur les quatre (4) échantillons analysés à cet effet, les teneurs sont :

- Gypse : 12,4 % ;
- Bois : 7,5 % ;
- Bardeau d'asphalte : 8,2 % ;
- Humidité : 16 %.

Dans ces conditions, les **exigences ne sont pas rencontrées**. Il faudrait pour cela extraire la matière organique, le bois et le gypse. Un séchage des résidus doit être effectué pour atteindre le seuil de moins de 5 % d'eau. De plus, il est fort probable que les cimenteries exigeront des analyses supplémentaires et que les coûts du traitement requis soient dispendieux.

5.3. REMPLISSAGE DE CARRIÈRES ET SABLIERES

Le remplissage de carrières et de sablières est une possibilité que plusieurs producteurs de résidus ce criblage fin regardent avec intérêt. D'ailleurs, cette voie était également analysée, voire utilisée, dans certains cas étudiés précédemment (section 2 du présent rapport, dont l'Ontario, le Massachusetts et la Floride.

Rappelons qu'il y a plusieurs années, il était possible d'éliminer les matériaux secs dans des carrières et des sablières afin de les combler jusqu'à leur profil original. Cette possibilité a été restreinte avec les nouvelles modifications réglementaires au *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles*. L'utilisation des résidus de criblage fin pourrait être envisagée pour :

- niveler les carrières et les sablières ;
- une utilisation en surface afin de faciliter l'infiltration des eaux ;
- servir d'amendement au sol de surface pour la reprise de la végétation.

Cependant, ces utilisations exigent une modification réglementaire, tout en respectant le critère A de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* et l'absence de corps étrangers.

Les résultats des analyses sur les échantillons démontrent certains éléments ne permettant pas l'application de cette filière de valorisation dans le contexte actuel, notamment en raison :

- de la présence de plastique et de métaux dans les particules fines ;
- du non respect du critère A de la politique concernant les terrains contaminés pour les composés phénoliques, le formaldéhyde, les HAP, les hydrocarbures pétroliers et le sulfate.

Il serait possible de pallier à ces résultats par un meilleur tri des bardeaux d'asphalte et du gypse, un meilleur tamisage pour extraire les corps étrangers et une modification réglementaire pour faciliter cette forme de mise en valeur des résidus de criblage fin.

6 CONSTATS ET RECOMMANDATIONS

6.1 CONSTATS

Plusieurs constats ont été soulevés lors de la réalisation de cette étude. Ceux-ci soulèvent les enjeux relatifs à la détermination d'une filière de valorisation durable aux particules fines produites dans les centres de tri de débris de CRD au Québec.

- La **composition** et la **nature** des résidus de criblage fin fluctuent d'un centre de tri à un autre en plus de varier à même chaque centre de tri.
- La **taille des tamis** utilisés est hétérogène, ce qui influe également sur la nature des particules fines.
- Les **types d'intrants**, qu'ils soient de nature résidentielle, commerciale ou industrielle ou provenant de chantiers de construction, de démolition ou de rénovation, influent directement la composition des particules fines. D'ailleurs, le suivi de la provenance des intrants n'est pas uniforme ni appliqué chez tous les centres de tri rencontrés, et ce, peu importe leur capacité de traitement.
- Les **procédures de tri** sont globalement les mêmes, quoique chaque centre de tri présente ses propres caractéristiques et particularités.
- Les procédures de **pré-tri** des centres de tri de débris de CRD ne semblent pas donner les résultats escomptés, notamment pour le gypse. Les résultats des analyses pour les sulfates et le soufre total démontrent que ceux retirant manuellement les panneaux de gypse en amont de la chaîne de tri ne présentent pas de résultats plus avantageux.
- Certaines matières spécifiques confèrent des **propriétés physiques** aux résidus de criblage fin qui ont un impact sur les exigences des critères des sols conformément à la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. C'est le cas de la présence des bardeaux d'asphalte, du bois aggloméré et du gypse.

Le tableau 13 présente une synthèse des utilisations possibles des résidus de criblage fin, incluant les propriétés physiques que les utilisateurs recherchent dans ces filières de valorisation. Dans chaque cas, les matières indésirables que les exploitants des centres de tri devront extraire de leurs résidus sont indiquées. On constate que peu importe la filière de valorisation retenue, des efforts devront être entrepris pour leur mise en œuvre.

Tableau 10 : Caractéristiques et exigences pour l'utilisation des résidus de criblage fin

	Critères des sols	Propriétés physiques	Matière spécifique à retirer
Abrasif de voirie	Critère A (sauf HAP et C ₁₀ -C ₅₀ : critère B)	Micro-Deval : < 35 % Granulométrie	<ul style="list-style-type: none"> Bois et autres matières organiques Gypse Bardeaux d'asphalte
Ajout cimentaire	Non applicable	Non combustible Contaminants (soufre) Granulométrie	<ul style="list-style-type: none"> Bois et autres matières organiques Gypse Bardeaux d'asphalte Plastique
Remplissage des carrières et des sablières	Critère A	Granulométrie Sans contaminant	<ul style="list-style-type: none"> Plastique Gypse Métal Bardeaux d'asphalte
Recouvrement journalier (utilisation actuelle)	Non applicable	Granulométrie Conductivité hydraulique Contaminants (soufre)	<ul style="list-style-type: none"> Gypse

6.2 RECOMMANDATIONS

À la lumière des constats soulevés, les recommandations suivantes semblent prioritaires si de nouvelles voies de mise en valeur des résidus de criblage fin doivent être envisagées :

- Retrait du gypse et des bardeaux d'asphalte dans les débris de CRD mixtes à trier** : La présence de gypse et de bardeaux d'asphalte est une problématique importante à résoudre avant que des solutions s'offrent pour la valorisation des résidus de criblage fin. La présence de soufre et de composés associés à l'asphalte est à éliminer ou à réduire substantiellement. L'atteinte des critères de valorisation des terrains contaminés dans la plage des critères A-B est d'ailleurs essentielle pour la valorisation de ces résidus dans les carrières et les sablières. La majorité des centres de tri rencontrés affirment que la séparation des bardeaux d'asphalte ne devrait pas causer de problèmes, puisque ces matières arrivent généralement déjà séparées. Cependant, la situation est tout autre pour le pré-tri du gypse. En effet, les centres de tri ayant mis en place des procédures de tri manuel en amont de leur chaîne de tri n'ont pas présentés de résultats concluants concernant l'absence de gypse dans les résidus de criblage fin. **Le tri à la source, directement sur les chantiers, semble la meilleure option pour assurer le retrait efficace du gypse dans les particules fines des centres de tri de débris de CRD.**
- Grosseur du tamis** : La grosseur des tamis pour la ségrégation des résidus de criblage fin semble avoir une importance sur leur valorisation. Les différentes pratiques de tamisage dans les centres de tri ont une influence sur le taux de contamination de ces résidus et sur les possibilités de leur valorisation. Il y a

lieu de réduire la taille du tamisage et de minimiser la partie la plus fine qui, elle, contient les principaux contaminants. La partie grossière est plus facilement valorisable. **Un tamis de moins de 1,9 cm²⁷ est recommandé²⁸.**

- **Revoir les pratiques de tri pour permettre une certaine homogénéisation des particules fines :** L'hétérogénéité des résidus de criblage fin d'un arrivage à l'autre et d'un centre de tri à un autre, complique la valorisation dans des milieux réglementés ou sous des exigences particulières. L'obligation de respecter certaines normes exige que des analyses soient effectuées à tous les arrivages en l'absence d'une relative certitude d'homogénéité du contenu des résidus. **Il y a lieu de revoir les pratiques de tri et de tamisage des centres de tri afin de mieux les uniformiser et de réduire les inégalités des arrivages.** Le mélange des rejets broyés de tri et des poussières avec les résidus de criblage fin augmentent leur quantité et les teneurs en certains contaminants qui ne permettent plus leur valorisation. Les rejets de tri et les poussières devraient être gérés séparément.

À la suite de l'analyse des pratiques étrangères, des constats sur les résidus de criblage fin des centres de tri québécois et des exigences des marchés potentiels pour la valorisation de ces résidus, il est recommandé aux centres de tri des CRD de :

1. Homogénéiser les pratiques de tri dans les centres de tri de CRD ;
2. Standardiser la grosseur des tamis à moins de 1,9 cm ;
3. Retirer en amont le gypse et les bardeaux d'asphalte ;
4. Confirmer la conformité des résidus de criblage fin à la suite de ces changements ;
5. Recommander au MDDELCC de modifier la réglementation pour favoriser la valorisation de ces résidus comme matériel de remplissage dans les carrières et les sablières comme il s'apprête à le faire pour les sols faiblement contaminés. Cette voie semble très intéressante, d'autant plus que la présence de carrières et sablières est généralisée partout au Québec.

Il y a lieu de proposer aux gestionnaires des centres de tri de développer de nouveaux standards pour la réception du gypse trié à la source et les bardeaux d'asphalte et d'uniformiser les pratiques de tamisage pour en arriver à des résidus de criblage fin qui soient conformes à des procédés de mises en valeur. Ces standards pourraient être inclus dans la certification des centres de tri que le 3R MCDQ songe à implanter au Québec. De plus, les entrepreneurs sur les chantiers devraient être sensibilisés aux impacts des modes de tri sur la valorisation des débris de CRD. Une approche devrait être envisagée auprès des différentes associations en construction du Québec (ACQ, AECQ, APCHQ, etc.). D'ailleurs, des projets pilotes de tri à la source du gypse et des bardeaux d'asphalte pourraient être initiés, notamment par RECYC-QUÉBEC, afin de valider les meilleures approches et pratiques en plus de démontrer leur faisabilité auprès des constructeurs, des rénovateurs et des démolisseurs.

²⁷ ¾ pouces.

²⁸ Comme c'est le cas dans l'État de la Floride.

ANNEXE 1 – LISTE DES CENTRES DE TRI AU QUÉBEC

ANNEXE 1 — LISTE DES CENTRES DE TRI DE DÉBRIS DE CRD AU QUÉBEC (Source : RECYC-QUÉBEC)

#	Nom de l'installation	Région administrative
1	Conteneurs KRT	01 Bas-Saint-Laurent
2	Gaudreau Environnement	01 Bas-Saint-Laurent
3	Groupe Bouffard	01 Bas-Saint-Laurent
4	Terrassement Jocelyn Fortin	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
5	Centrem, Division Groupe Demex	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
6	Mini-excavation M.T. inc.	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
7	E. & J. Turcotte inc.	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
8	Transport Caron	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
9	Excavation Dolbeau	02 Saguenay-Lac-Saint-Jean
10	Services Matrec, soc. de Transforce - Québec	03 Capitale nationale
11	AIM Écocentre	03 Capitale nationale
12	Services Matrec, soc. de Transforce - Québec	03 Capitale nationale
13	Eddy Fugère	03 Capitale nationale
14	Service Cité Propre	04 Mauricie
15	Bellemare Recyclage	04 Mauricie
16	Enviro-Tri (9220-6663 Québec inc.)	04 Mauricie
17	Excavations RMG	04 Mauricie
18	Valoris	05 Estrie
19	Conteneur Coaticook 2010	05 Estrie
20	Sanitaire Lac-Mégantic 2000 inc.	05 Estrie
21	Ovide Rouillard centre de récupération de matériaux secs (Kruger)	05 Estrie
22	Koncas Recyclage	06 Montréal
23	Entreprises Environnementales Pierrefonds	06 Montréal
24	Centre de tri Mélimax	06 Montréal
25	Conteneurs 3R	06 Montréal
26	Multi Recyclage S.D. inc.	06 Montréal
27	TTI Environnement	06 Montréal
28	Amor Construction	07 Outaouais
29	Centre de tri Pontiac	07 Outaouais
30	Centre de tri RMSO/Myral	07 Outaouais
31	Transformation Métaux du Nord inc.	09 Côte-Nord
32	Services Sanitaires Denis Fortier	12 Chaudière-Appalaches
33	Enviro-Cycle	12 Chaudière-Appalaches
34	Services Sanitaires Denis Fortier	12 Chaudière-Appalaches
35	Multi Recyclage S.D. inc.	13 Laval
36	Entreprises Pavco	13 Laval

37	Enlèvement des déchets Bergeron inc.	13 Laval
38	Service de Recyclage Sterling	13 Laval
39	Recyclage Frédérick Morin	14 Lanaudière
40	Conteneur Recycle inc.	14 Lanaudière
41	Multi Recyclage S.D. inc.	15 Laurentides
42	Centre de tri Argenteuil	15 Laurentides
43	Service de Recyclage Sterling	15 Laurentides
44	Entreprises J Boucher & Fils (Les)	16 Montérégie
45	Écoservice TRIA	16 Montérégie
46	Centre de tri Mélimax	16 Montérégie
47	Conteneurs Rouville	16 Montérégie
48	Camille Fontaine	16 Montérégie
49	Sani-Éco	16 Montérégie
50	Martial Excavation	16 Montérégie
51	Jean-Paul Blanchard & Fils	17 Centre-du-Québec
52	Centre de tri Warwick	17 Centre-du-Québec
53	Enfouibec	17 Centre-du-Québec

ANNEXE 2 – FICHES DESCRIPTIVES DU PORTRAIT À L'ÉTRANGER

ÉTAT DE LA CALIFORNIE

Organisations consultées :

- Les intervenants à contacter chez CalRecycle, Zanker Recycling et Shoreway Environmental Center ont été identifiés et n'ont pas retournés les appels de Chamard stratégies environnementales
- Les données de la fiche sont tirées des documents de référence cités dans la section « Documentation consultée »

Contexte réglementaire	<p>Les résidus de criblage en Californie peuvent être utilisés comme matériel de recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement. L'utilisation de différentes matières comme matériel de recouvrement journalier dans ces sites repose sur un cadre réglementaire précis (CalRecycle, 2015), mais celui-ci reste encore à structurer pour l'utilisation des résidus de criblage de centres de tri de construction et démolition comme matériel de recouvrement.</p> <p>Onze matériaux de recouvrement journalier sont acceptés par CalRecycle, dont les débris de CRD transformés¹. Tous les types de matériaux de recouvrement doivent être approuvés par une agence de CalRecycle avant leur utilisation dans un site d'enfouissement. Faisant partie des onze types de matériaux pré-approuvés, les débris de CRD utilisés comme matériel de recouvrement sont considérés comme étant recyclés et non pas éliminés. Les nouveaux types de matériel de recouvrement doivent aussi être approuvés suite à des projets de démonstrations de leur utilisation sur les sites d'enfouissement qui en font la demande. Le cadre réglementaire actuel permet donc à l'agence californienne de procéder au «cas par cas» et d'exiger certaines modalités d'application selon le lieu d'enfouissement et selon les types de matériaux de recouvrement utilisés. Dans plusieurs cas, il est exigé que les résidus de criblage soient recouverts de trois pouces de terre ou de sol².</p> <p>Chaque site d'enfouissement doit faire l'inventaire quotidien de son utilisation de tous les types de matériaux de recouvrement qu'il utilise, leur origine et les quantités utilisées. L'utilisation abusive de matériaux de recouvrement sera considérée comme de l'élimination et non pas de la valorisation.</p>
Composition des particules fines	Aucune information spécifique sur la composition des particules fines en Californie ne fut recensée.
Alternatives identifiées au recyclage des particules fines	Aucune autre alternative que le recouvrement journalier ne fut identifiée.
Obstacles identifiées au	Les résidus de criblage des centres de tri de matières recyclables et des centres de tri de débris de CRD sont difficilement transformables en un produit homogène puisque les intrants de ces centres varient grandement en fonction de leur provenance et le résultat de

¹ 20690 (b) (9) Processed Construction and Demolition Waste and Material : *Processed construction and demolition wastes and materials used as alternative daily cover shall be restricted to the following materials: rock, concrete, brick, sand, soil,*

recyclage des particules fines	leur traitement, en fonction des équipements utilisés (types de tamis) (California Integrated Waste Management Board, 2009).
Éléments facilitant l'émergence de nouvelles filières	Plusieurs juridictions californiennes ont adopté des décrets ou des règlements établissant des objectifs de récupération et de recyclage obligatoires pour différents types de matières résiduelles destinées aux centres de tri. Les intervenants concernés ont indiqué la nécessité de recycler les particules fines comme matériel de recouvrement dans les lieux d'enfouissement. Les exigences gouvernementales augmentent donc la nécessité de trouver des alternatives au recyclage des particules fines.
Principaux constats	<ul style="list-style-type: none"> • L'État californien considère l'utilisation des particules fines comme matériel de recouvrement journalier comme étant du recyclage et non pas de l'élimination. • Une méthodologie précise pour les projets de démonstration d'utilisation de matériel de recouvrement dans les lieux d'enfouissement demeure à définir. • Il existe une gestion au « cas par cas » par CalRecycle des demandes en ce qui a trait à l'utilisation de différents matériaux de recouvrement dans les lieux d'enfouissement.
Documentation consultée	<ul style="list-style-type: none"> • California integrated waste management board, 2009. «alternative daily cover white paper». Calrecycle, 27 p. • maurice b. Quillen et robert reed, 2004. «mixed c&d recycling on-line in san francisco». Biocycle. Consulté en ligne : http://www.recology.com/press_room/articles/pdf/biocycle0204.pdf, en date du 11 décembre 2015. • Calrecycle, 2015. «basics: alternative daily cover (adc)». Consulté en ligne: http://www.calrecycle.ca.gov/lgcentral/basics/adcbasic.htm, en date du 10 décembre 2015. • Calrecycle solid waste enforcement section, 2014. «alternative daily cover 2014 investigation». Calrecycle, 11 p. • Calrecycle, 2015. «permit toolbox daily/intermediate cover and alternative daily/intermediate cover guidelines». Consulté en ligne: http://www.calrecycle.ca.gov/swfacilities/permitting/guidance/dailyintcovr/default.htm, en date du 9 décembre 2015. • Cody oquendo, 2013a. «facility/site inspection details». Consulté en ligne : http://www.calrecycle.ca.gov/swfacilities/directory/34-aa-0020/inspection/366042/, en date du 21 décembre 2015.

ceramics, cured asphalt, lumber and wood, wood products, roofing material, plastic pipe, plant material when commingled from construction work, and fines derived from processing the above materials (...) Grain size specification by volume: 95 percent less than 6 inches minimum. Minimum compacted thickness of 6 inches and average compacted thickness of less than 18 inches. (California Integrated Waste Management Board October, 2009)

² (Cody Oquendo, 2013a); (Cody Oquendo, 2013b)

	<ul style="list-style-type: none">• Cody oquendo, 2013b. «facility/site inspection details». Consulté en ligne : http://www.calrecycle.ca.gov/swfacilities/directory/34-aa-0020/inspection/368731/, en date du 21 décembre.
Réalisé par :	<ul style="list-style-type: none">• Annie Choquette, Chamard strategies environnementales, novembre 2015

ÉTAT DE LA FLORIDE

Organisations consultées :

- Florida Department of Environmental Protection
- Florida Wood Recycling (centre de tri régional)

Contexte réglementaire

Définition de « particules fines » : Selon les lignes directrices de gestion des résidus de criblage, le matériel récupéré des opérations de tamisage fait référence aux particules fines qui sont constituées de terre (ou autre matière constituante du sol) et d'autres matières de petite taille qui sont le résultat des opérations de recyclage des débris de construction et de démolition et qui ont été tamisées par un tamis de trois quarts de pouce ou moins³.

Contexte réglementaire général : Le propriétaire d'une entreprise produisant des résidus de criblage doit prouver l'inoffensivité de ces résidus à l'égard de la santé humaine afin d'obtenir l'autorisation du Florida Department of Environmental Protection pour leur valorisation. Une série de critères doit être respectée et une méthodologie d'échantillonnage et d'analyse est décrite dans les lignes directrices. La concentration de contaminants potentiels doit respecter un seuil prédéterminé afin que les résidus de criblage puissent être utilisés à d'autres fins que le recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement.

Selon l'usage prévu (résidentiel, commercial ou industriel), les critères à respecter à l'égard de la santé humaine varient.

Les usages ne nécessitant pas la conduite d'analyses sur les impacts sur la santé humaine prévues dans les lignes directrices sont les suivants :

- Encapsulation permanente (production d'asphalte et de béton);
- Recouvrement journalier dans les lieux d'enfouissement;
- Utilisation sous deux pieds de matériel de recouvrement dit «propre».

En Floride, il n'existe pas de politique ou de réglementation sur la gestion des particules fines. En revanche, les lignes directrices permettent le traitement des initiatives de valorisation au cas par cas, en autant que la procédure de vérification des impacts sur la santé humaine respecte les critères de ces lignes directrices⁴.

³ Définition originale : Recovered screen material means the fines fraction, consisting of soil and other small materials, derived from the processing or recycling of construction and demolition debris which passes through a final screen size no greater than ¾ of an inch.

L'étude de caractérisation menée en 1998 par Townsend en Floride a démontré que 27 % des particules tamisée par un tamis de ¾ de pouce étaient retenues par le tamis. Les particules fines ont été échantillonnées dans cinq centres de tri floridiens.

⁴ In many states, beneficial use of waste materials is practiced but there is no formal policy (e.g., in Florida). The key for C&D recyclers in these cases is to understand the rule framework that exists for beneficial use and appropriately evaluate potential risks, even if an explicit rule or policy is not in place. This enhances legitimacy of the beneficial use practice and can help to reduce potential future liability by giving the generator defensible documentation that shows due care was used prior to a material being beneficially used (Powell, Townsend et Bigger, 2013).

<p>Composition des particules fines</p>	<p>Étude de caractérisation datant de 1998 et de 2004 à 2008 (sur différentes composantes)</p> <p>Métaux lourds : L'arsenic est le métal lourd le plus limitant en termes de réutilisation des particules fines étant donné sa concentration relativement élevée lorsque comparée au «risk-based soil cleanup target levels» de la Floride.</p> <p>Sulfate : La concentration élevée en sulfate (entre 1,5 à 9 %) provient de la présence de gypse. L'utilisation de particules fines comme matériel de remplacement pour du sol doit donc se faire en fonction de l'hydrogéologie et de la réglementation locale en termes de concentration de sulfate dans les eaux souterraines.</p> <p>Composés organiques volatils et semi-volatils : Les composés organiques volatils et semi-volatils ne sont pas en concentration suffisante pour causer un risque à la santé humaine et à la qualité de l'eau souterraine lorsque les particules fines sont en contact avec le sol.</p> <p>Gypse : Le contenu en gypse des particules fines varie de 1 % à 25 % dans les échantillons obtenus au sein de différentes installations américaines. Les proportions varient non seulement d'une installation à l'autre mais également d'un échantillon à l'autre au sein d'une même installation.</p>
<p>Alternatives identifiées au recyclage des particules fines</p>	<p>Les opportunités suivantes furent identifiées par les intervenants consultés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remplissage et nivelage (impliquant un mélange des résidus avec de la terre); • Ajout cimentaire ou ajout dans la production d'asphalte; • «Encapsulation» dans le béton; • Utilisation dans la construction de fondation pour résidence ou routes; • Production d'éléments décoratifs (pots pour plantes en mélangeant avec du ciment).
<p>Obstacles identifiées au recyclage des particules fines</p>	<p>Les obstacles suivants furent identifiés par les intervenants consultés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des résidus de criblage dans la production de béton diminue le PSI du béton et le produit fini peut difficilement être vendu; • L'utilisation des résidus de criblage pour la fondation de résidence diminue la valeur des propriétés; • L'encapsulation dans le béton est une procédure dispendieuse qui rend la valorisation des particules fines non rentable; • La gestion de la production d'éléments décoratifs demande beaucoup de temps et de ressources et la rentabilité est difficilement atteinte étant donné les grandes quantités de particules fines à valoriser et les petites quantités entrant dans la production d'éléments décoratifs; • Un manque d'éducation sur la réelle toxicité des résidus de criblage par la population en général rend leurs usages alternatifs difficiles du point de vue de l'acceptabilité sociale.

<p>Éléments facilitant l'émergence de nouvelles filières</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contexte réglementaire plus souple permettant, en théorie, la gestion au cas par cas des opportunités de valorisation de particules fines. Il n'existe pas de politique (règlements ou lois) régissant la valorisation des particules fines.
<p>Principaux constats</p>	<ul style="list-style-type: none"> Des opportunités de valorisation sont présentes en Floride et certains intervenants sont en mesure de les saisir; La méthodologie et les analyses à réaliser pour autoriser l'utilisation des particules fines à d'autres usages que le recouvrement dans les lieux d'enfouissement engendre des coûts qui ne peuvent être assumés par les petits exploitants; Le recouvrement dans les lieux d'enfouissement est la méthode la plus répandue d'élimination des résidus de criblage.
<p>Documentation consultée</p>	<ul style="list-style-type: none"> Jon powell, p.e., tim townsend, ph.d., p.e. et ali bigger, e.i. «beneficial use considerations for construction and demolition materials», c&d world news, 28 août 2013 (http://www.cdworldmag.com/index.php/features/621-beneficial-use-considerations-for-construction-and-demolition-materials). Timothy townsend, 1998. «characterization of recovered screened material from c&d recycling facilities in florida», florida center for solid and hazardous waste management, university of florida, rapport 98-13, 156 pages. Florida department of environmental protection, 2011. «guidelines for the management of recovered screen material from c&d debris recycling facilities in florida», solide waste section tallahassee, 17 pages. Yong-chul jang, timothy g. Townsend, 2000. «occurrence of organic pollutants in recovered soil fines from construction and demolition waste», waste management 21, elsevier, p.703-715. Yong-chul jang, timothy g. Townsend, 2001. «sulfate leaching from recovered construction and demolition debris fines», advances in environmental research 5, elsevier, p.203-217. Timothy townsend, thabet tolaymat, kevin leo, jenna jambeck, 2004. «heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in florida», science of the total environment 332, elsevier, p.1-11 Stephen e. Musson, qiyong xu, timothy townsend, 2008. «measuring the gypsum content of c&d debris fines», waste management 28, elsevier, p.2091-2096.
<p>Réalisé par</p>	<ul style="list-style-type: none"> Annie Choquette, Chamard stratégies environnementales, novembre 2015

ÉTAT DU MASSACHUSETTS	
Organisation consultée :	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Department of Environmental Protection (MassDEP) 	
Contexte réglementaire	<p>Il n'existe pas de cadre légal formel pour la gestion des particules fines issues des activités de tri de débris de construction et démolition au Massachussets.</p> <p>MassDEP se donne le droit de limiter l'usage de certains matériaux de recouvrement pour des questions d'efficacité et de santé publique. Une demande écrite doit être faite au MassDEP, en conformité au programme sur les usages bénéfiques de déchets spéciaux⁵ pour l'usage de particules fines comme matériel de recouvrement. La procédure à suivre est stipulé dans la réglementation sur la gestion des matières résiduelles (310 CMR 19 :000, partie 1) et dans les lignes directrices du programme sur les usages bénéfiques de déchets spéciaux. Des analyses sur la composition chimique et sur la capacité des particules fines à remplir les fonctions d'un matériel de recouvrement conforme à la réglementation sont requises.</p> <p>Les particules fines utilisées comme matériel de recouvrement ne sont considérées ni éliminées ni recyclées. Des quantités importantes de particules fines sont envoyées à l'enfouissement à l'extérieur de l'État.</p> <p>Depuis le 1^{er} avril 2006, l'État du Massachussets a banni des lieux d'enfouissement les débris d'asphalte, de brique, de béton, de métal, de bois (traité et non traité), de feuilles de gypse propres (depuis 2011).</p>
Composition des particules fines	<p>Dans l'étude de caractérisation de 2007 des débris de CRD, les particules fines sont définies comme étant soit (DSM Environmental, 2008):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le résultat d'un tamisage de débris de construction et démolition préalablement broyés (tamis de moins d'un pouce) • Le résultat d'un tamisage des matières au début ou à la fin d'une chaîne de tri (tamis de plus d'un pouce) <p>Les caractéristiques des particules fines dépendent de plusieurs facteurs dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La nature des matières arrivant au centre de tri (débris de construction ou de démolition) • Les matériaux récupérés avant le tamisage (retrait du gypse ou non) • L'équipement utilisé pour réduire la taille ou broyer les débris⁶

1. ⁵ «BENEFICIAL USE & SPECIAL WASTE DETERMINATIONS»

⁶ «While the majority of C&D processing facilities in Massachusetts were set up with front-end grinding equipment, a number of these facilities are no longer running the grinding equipment. Instead, they are simply running over the C&D waste with excavators to size reduce the material and to pick out metal and other large objects. In some cases this material is then placed on a conveyor for sorting and screening

	<ul style="list-style-type: none"> • La taille du tamis (varie de 3/8 à 3 pouces dans l'étude. Les tamis les plus fins peuvent augmenter la concentration en gypse et les tamis plus gros peuvent augmenter la concentration en bois) • À quel moment du processus de tri le broyage ou la réduction des débris a lieu (avant ou après le tamisage) <p>Dans cette étude de 2007, on réfère aux données des études de composition des particules fines réalisées par Timothy Townsend (Floride)</p> <p>Le tonnage associé aux matériaux de recouvrement et de travaux de profilage et de nivellement dans les sites d'enfouissement représente 16 % de la génération globale de débris de construction et de démolition en 2007. Les particules fines représentent 55 % du poids de ces matériaux. Les particules fines qui n'ont pas pu être utilisées comme matériel de recouvrement ont été enfouies. DSM Environmental n'a pas été en mesure de produire une estimation de la quantité de particules fines globalement générées, mais cela représente donc plus de 180 000 tonnes (55 % de 326 000 tonnes)</p>
<p>Alternatives identifiées au recyclage des particules fines</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Selon l'étude de caractérisation de 2007, le seul usage possible des particules fines est le recouvrement journalier ou l'utilisation dans les travaux de nivellement et profilage de lieux d'enfouissement techniques. • L'intervenant du MassDEP mentionne l'existence d'un type particulier de béton qui serait fait à partir des particules fines de plus gros diamètre. Il est commercialisé sous le nom de ReCrete. Son usage semble réservé aux travaux de construction en milieu commercial, industriel ou institutionnel.
<p>Obstacles identifiées au recyclage des particules fines</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La génération de sulfure d'hydrogène causée par la présence de gypse dans les débris pourra obliger les gestionnaires de lieux d'enfouissement à mettre en place des équipements de contrôle des émanations de sulfure d'hydrogène dont les coûts sont plus importants à court terme que les économies réalisées par l'utilisation des particules fines de débris de construction et démolition, plutôt qu'un autre type de matériel (sol, terre) plus coûteux. • Les difficultés associées au recyclage des particules fines augmentent le coût des activités de tri et de recyclage des débris de construction⁷ (DSM Environmental, 2008).
<p>Éléments facilitant l'émergence de nouvelles filières</p>	<p>Le bannissement du bois des lieux d'enfouissement encourage les différentes parties prenantes de la gestion des débris de construction et de démolition à financer et participer à des recherches sur des alternatives pour le recyclage des particules fines qui sont elles aussi en partie composées de bois. Il est possible selon DSM Environmental que la définition d'un processus d'utilisation des particules fines comme matériel de</p>

(which will produce fines). In other cases the partially crushed materials are simply loaded into rail cars or transfer trailers for landfilling. These latter facilities do not produce fines because they are not screening the waste»

⁷ «Fines and residuals used for ADC and landfill grading and shaping cost the processors between \$25 and \$50 per ton delivered to the landfill, and disposal costs for the remaining residuals cost between \$55 and \$85 (rounded) per ton. Assuming an average processing cost of \$35 per ton, that means that disposing of material that has been processed as ADC costs the processor between \$60 and \$85 per ton». (DSM Environmental, 2008). Cela signifie que les centres de tri doivent être en mesure de récupérer suffisamment de matières créant un profit à la revente (métal et bois entre autres) pour contrebalancer les coûts du tri, du traitement et la gestion des matières non recyclables.

	<p>recouvrement dans les lieux d'enfouissement implique l'instauration d'exigences reliées à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la séparation du gypse des autres débris de construction et de démolition; • l'addition de terre ou de sol aux particules fines; • la taille des tamis requis pour la production de particules fines pouvant servir de matériel de recouvrement. <p>Des pressions importantes sont actuellement exercées par les gestionnaires de centre de tri afin que le MassDEP autorise les particules fines des centres de tri à être utilisées pour le remplissage dans anciennes gravières et mines. Jusqu'à maintenant, le MassDEP considère qu'il ne s'agit pas d'un usage approprié de ce type de déchets considérant les risques potentiels pour la santé humaine.</p>
<p>Principaux constats</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le recouvrement journalier et les travaux de profilage et de nivellement dans les lieux d'enfouissement sont les seules alternatives de recyclage pour les particules fines; • Le bannissement du bois des lieux d'enfouissement crée un besoin de plus en plus urgent pour le recyclage des particules fines qui sont en partie composées de bois; • Il est envisagé d'instaurer de nouvelles exigences qui permettront d'assurer que les particules fines peuvent être utilisées comme matériel de recouvrement et de nivellement sans causer des problèmes qui rendront cette alternative de moins en moins intéressante pour les lieux d'enfouissement.
<p>Documentation consultée</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dsm environmental, 2008. «2007 Massachusetts construction and demolition debris industry study», Massachusetts department of environmental protection (massdep), 51 p. • Massdep, 2005. «frequently asked questions about the Massachusetts construction and demolition materials waste bans». Consulté en ligne: http://www.mass.gov/eea/agencies/massdep/recycle/solid/massachusetts-waste-disposal-bans.html, en date du 9 février 2016. • James doucett, 2016. «using c&d fines and residuals to close landfills – lessons learned», massdep, présentation powerpoint, 51 diapositives. Consulté en ligne: http://www.astswmo.org/files/meetings/2007/2007-solid_waste_conference/jamesdoucett.pdf, en date du 9 février 2016. • Modeling of hydrogen sulfide generation from landfills beneficially utilizing processed construction and demolition materials russell anderson, jenna r. Jambeck, gregory p. Mccarron, • 310 cmr: department of environmental protection 310 cmr 19.000: solid waste management part i: general requirements, procedures and permits Http://www.mass.gov/courts/docs/lawlib/300-399cmr/310cmr19.pdf • Http://recretematerials.com/mix.html

ÉTAT DU MINNESOTA

Organisations consultées :

Minnesota Pollution Control Agency (deux intervenants du *Solid Waste Permitting Unit*)

SKB Environmental

Périodes de collecte de données : novembre à janvier 2015

Contexte réglementaire

Le seul usage reconnu pour les résidus de criblage est le matériel de recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement, nommé *alternative daily cover* dans la littérature et la réglementation.

Les résidus de criblage ou les résidus de broyage⁸ doivent être analysés par l'agence et approuvés pour utilisation en tant que matériel de recouvrement journalier. Selon les données de 2010, 46 389 tonnes de matériel de recouvrement journalier ont été produites par les installations de la grande région de Minneapolis. Cela représente 7 % de l'ensemble des quantités de matières résiduelles envoyées à l'enfouissement par ces installations.

L'utilisation des particules fines comme matériel de recouvrement n'est pas reconnu comme une forme de recyclage par le Minnesota Pollution Control Agency et il est le seul usage légal de réutilisation des particules fines reconnu par le MPCA⁹.

Aucun débris ou résidus de construction contenant du gypse ne doit être utilisé comme matériel de recouvrement à moins que¹⁰ :

- Les débris de construction ne soient pas pulvérisés ou déchiquetés avant qu'ils soient traités, tamisés ou appliqués;
- Un maximum d'effort ait été fait pour retirer le gypse présent dans les débris de construction avant qu'ils soient traités, tamisés ou appliqués;
- Les débris utilisés comme matériel de recouvrement sont mélangés dans une proportion d'une partie de terre pour une partie de résidus, préalablement à l'application;

⁸ Le matériel de recouvrement peut être obtenu à partir du broyage des résidus de construction ou de leur tamisage.

⁹ Échange courriel Lisa (2015-01-11). Chaque centre de tri de débris de construction, rénovation et démolition doit fournir un rapport à l'agence faisant l'inventaire des matières reçues, recyclées et enfouies et les résidus de criblage utilisés comme matériel de recouvrement sont considérés comme faisant partie des matières enfouies.

¹⁰ Minn. Statute 115A.936 CONSTRUCTION DEBRIS AS COVER MATERIAL PROHIBITED.

	<ul style="list-style-type: none"> Le lieu d'enfouissement n'accepte que la quantité de matériel de recouvrement nécessaire à ses opérations;
<p>Informations sur la composition des particules fines</p>	<p>Selon l'étude de 2007 sur la composition des débris industriels et de construction et rénovation, il existe deux méthodes connues de production de matériel de recouvrement journalier à partir de débris de construction, rénovation et démolition qui influencent la composition :</p> <ol style="list-style-type: none"> Broyage de débris de construction une fois qu'un premier tri est effectué pour retirer bois, agrégats, fibres et métaux Tamisage de l'ensemble des débris reçus et accumulation des particules fines obtenues <p>La première méthode est graduellement interdite puisqu'elle a causé d'importants problèmes d'odeur causés par les résidus de gypse qui produisent des odeurs nauséabondes lorsqu'en contact avec un environnement humide.</p> <p>La deuxième méthode ne permet pas d'éliminer complètement les résidus de gypse et contient une proportion importante de poussières, de terre et de particules de béton et de briques.</p> <p>La provenance des débris influence la composition qui aura un impact déterminant sur l'approbation de l'utilisation des résidus de criblage comme matériel de recouvrement journalier. Toujours selon l'étude de 2007, les débris de construction sont composés à 16 % de particules fines, de terre ou de «saletés», tandis que cette proportion s'élève à 30 % pour les débris de démolition.</p>
<p>Alternatives connues de recyclage des particules fines</p>	<ul style="list-style-type: none"> Le recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement technique. <p>À noter : les particules fines utilisées comme matériel de recouvrement journalier ne sont plus considérées comme «recyclées» mais bien «éliminées» par l'État du Minnesota.</p> <p>Des recherches sont en cours dans les installations de l'entreprise SKB Environmental. Ces recherches ont pour but de trouver une alternative à l'enfouissement ou l'utilisation comme matériel de recouvrement pour les résidus de criblage. Aucune information ne put être transmise à Chamard stratégies environnementales. L'importance de conserver un avantage concurrentiel pour l'entreprise a été évoquée comme la raison du refus à transmettre des informations.</p> <p>Aucune alternative actuelle de recyclage des résidus de criblage n'était connue de l'intervenant de SKB Environmental.</p>

<p>Obstacles à l'émergence de filières ou à l'exploitation des filières connues</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de marché connu permettant d'écouler les quantités accumulées de résidus de criblage. • Les odeurs causées par la présence de gypse limitent l'utilisation des résidus de criblage comme matériel de recouvrement journalier • En 2007, le MPCA évaluait la possibilité de limiter les quantités de résidus de criblage pouvant être utilisés comme matériel de recouvrement par les sites d'enfouissement. Aucune modification à la réglementation n'a été effectuée à ce jour.
<p>Éléments facilitant l'émergence de nouvelles filières</p>	<p>Aucune information disponible à l'échelle de l'État</p>
<p>Principaux constats</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le MPCA a choisi de considérer les résidus de criblage comme étant éliminés lorsqu'utilisés comme matériel de recouvrement à cause des problèmes liés aux odeurs causées par la présence de gypse dans les résidus de criblage (entrevue MPCA). • Des recherches sont en cours chez certaines entreprises gestionnaires de centres de tri afin de développer de nouvelles filières de recyclage pour les particules fines.
<p>Documentation consultée</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Minnesota pollution control agency, 2015. <i>Minnesota c&d material recovery trend 2008-2013</i>. Chiffrier excel transmis par henry fisher le 21 décembre 2015. • Minnesota pollution control agency, 2015. <i>2010 greater minnesota construction & demolition recycling & disposal tonnages</i>. Chiffrier excel transmis par henry fisher le 21 décembre 2015. • Minnesota pollution control agency, 2015. <i>2010 metro construction and demolition recycling & disposal tonnages</i>. Chiffrier excel transmis par henry fisher le 21 décembre 2015. • Foth infrastructure & environment, llc, 2007. «minnesota construction, demolition, and industrial waste study». Project no 06s015. Solid waste management coordinating board St. Paul, Minnesota, 145 pages.

PROVINCE DE L'ONTARIO	
Organisations consultées :	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Ministère ontarien de l'environnement et des changements climatiques ○ Ontario Waste Management Association ○ Countrywide Recycling ○ Recycle City 	
Contexte réglementaire	<p>L'Ontario n'a pas de lignes directrices, de politique ou de règlement concernant exclusivement la gestion des résidus de criblage.</p> <p>Les lignes directrices <i>on the regulatory and approval requirements for new or expanding landfilling sites</i> comprend une section sur le recouvrement journalier des sites d'enfouissement. On y spécifie les critères à respecter pour l'utilisation de matériaux de recouvrement alternatifs (comme les résidus de criblage).</p> <p>Il est entre autres exigé que certains contaminants respectent les seuils acceptables selon la charte des contaminants dans le lixiviat, incluse dans le règlement 347 sur la gestion des matières résiduelles (Revised Regulations of Ontario, 1990).</p> <p>Il est également nécessaire de procurer plusieurs informations sur la gestion sur le site d'enfouissement du matériel de recouvrement (stockage, gestion des odeurs, quantités, etc.)</p> <p>Si les quantités stockées dépassent les besoins en recouvrement pour 60 journées consécutives et que les contaminants dépassent les limites permises pour la zone industrielle, une évaluation des mesures à mettre en place pour limiter la contamination par le ruissellement des eaux de surface ou du lixiviat est exigée.</p>
Composition des particules fines	<p>Les personnes consultées réfèrent aux études de composition américaine.</p>
Alternatives identifiées au recyclage des particules fines	<ul style="list-style-type: none"> • Recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement technique. Selon l'entreprise consultée, cette alternative est lentement appelée à disparaître puisque les sites d'enfouissement utilisent de plus en plus de bâches en plastique résistantes, qui font office de recouvrement journalier. C'est une façon de faire face aux problèmes causés par la présence de gypse dans les résidus de criblage. Il en coûte entre 20 et 30 \$ pour disposer des particules fines dans un lieu d'enfouissement. • Mélange à un sol de meilleure qualité pour diminuer la concentration des contaminants et faire du remplissage

Obstacles identifiés au recyclage des particules fines	<p>Éléments identifiés par l'intervenant du centre de tri :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'information sur les alternatives au recyclage est très difficile à obtenir. Il n'y a aucun partage de données, de recherches ou d'expérience. Chaque centre de tri tente ses propres projets. • Le cadre réglementaire fait en sorte pour l'instant qu'aucun autre usage n'est possible pour les particules fines que l'utilisation comme matériel de recouvrement ou l'enfouissement.
Éléments facilitant l'émergence de nouvelles filières	Aucun élément ne fut identifié
Principaux constats	<ul style="list-style-type: none"> • Les efforts de recherche demeurent confidentiels et il ne semble pas y avoir d'initiatives de partage de connaissances sur les alternatives de recyclage des particules fines. • Une tendance lourde à l'arrêt de l'utilisation des résidus de criblage dans les sites d'enfouissement est observable.
Documentation consultée	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère ontarien de l'environnement et des changements climatiques (2012). <i>Landfill standards: A guideline on the regulatory and approval requirements for new or expanding landfilling sites</i>. 100 pages. • Ministère ontarien de l'environnement et des changements climatiques (1990). Loi sur la protection de l'environnement. R.R.O. 1990, Regulation 347. General : Waste Management, 100 pages.

ANNEXE 3 – FICHES DESCRIPTIVES DES VOIES DE MISE EN VALEUR



Fines CRD : Abrasif de voirie

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Des abrasifs sont épandus en saison hivernale sur la majorité du réseau routier québécois lorsqu'il y a présence de glace afin d'augmenter l'adhérence des véhicules sur la chaussée. De grandes quantités d'abrasifs sont donc utilisées et la demande est sur tout le territoire du Québec.

SPÉCIFICATIONS

La granulométrie d'un abrasif doit se situer à l'intérieur de l'un des fuseaux granulométriques spécifié par le MTQ et présenté dans le tableau 1. L'analyse granulométrique doit être réalisée conformément à la méthode d'essai LC 21-040 « Analyse granulométrique » du Ministère et le tableau 2 contient des caractéristiques intrinsèques et complémentaires nécessaires pour un abrasif de voirie. Le fuseau granulométrique AB-5 correspond aux abrasifs constitués de pierre concassée et l'AB-10 à ceux composés de sable tamisé.

Tamis	AB-5 (% passant)	AB-10 (% passant)
10 mm	—	100
8 mm	100	—
5 mm	85-99	95-100
2,5 mm	1-15	—
1,25 mm	0-5	0-70
630 µm		0-50
315 µm		0-35
160 µm		0-15
80 µm		0-5

Tableau 1 : fuseau granulométrique d'abrasifs de voirie [1]

Granulats fins	Méthode d'essai	Exigences
Caractéristiques intrinsèques		Micro-Deval (MD) ≤ 35
Caractéristiques complémentaires : - teneur en eau (%)	LC 21-201	≤ 5

Tableau 2 : caractéristiques intrinsèques et complémentaires d'un abrasif [2]

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	LC 21-040, LC 21-201 et valider la dureté de la fraction granulométrique visée.. Valider avec le MDDELCC les analyses de toxicité nécessaires (daphnies, orge, HAP, etc.).
Commentaires	Seulement une fraction du gisement peut être utilisée, puisque l'abrasif doit être de dans la plage < 5 mm et >2,5 ou 1, 25 mm. Présentement, l'humidité est trop élevée, mais un meilleur entreposage pourrait permettre de se conformer à une teneur en eau inférieure ou égale à 5%.
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="checkbox"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="checkbox"/> Broyage ou séchage (2) <input type="checkbox"/> Tamisage (1) : Il faut cibler les particules inférieures à 5 mm et limiter la teneur en eau <input type="checkbox"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="checkbox"/> R & D, long terme (3) <input type="checkbox"/> R & D, moyen terme (2) <input type="checkbox"/> À tester, court terme (1) : il faut valider la dureté <input type="checkbox"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="checkbox"/> Non (1) : C'est une application saisonnière <input type="checkbox"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="checkbox"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="checkbox"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) : Réglementation sera à vérifier (MTQ/MDELCC) <input type="checkbox"/> Demande de C.A. (1) <input type="checkbox"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> o Possibilité de vendre la matière (3) o Évite des frais (2) : La valeur d'un abrasif est très faible : environ 6 \$ la tonne [3] o Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonne) (1) o Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> o Élevée > 50 % (3) o Moyenne 10 à 50 % (2) o Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> o Oui (1) : MTQ et municipalités o Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> o Élevées (3) o Moyennes (2) : Évite l'utilisation d'une matière vierge o Faibles (1) o Nulles (0)
Références	
1	Tableau 14401-1 de la norme 14404 « Abrasifs » du Tome VII – Matériaux de la collection Normes – Ouvrages routiers du ministère des Transports
2	Ouvrages Routiers. Cahier des charges et devis généraux. Déneigement et déglacage. http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=9&file=ccd-g-dd16.pdf
3	Source : http://www.munframpton.qc.ca/doc/pvavril2013.doc



DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

En agriculture les sols ont besoin d'amendement pour favoriser la croissance des cultures et la demande en éléments varie selon les cultivars. Les fines contiennent du calcium, du soufre et d'autres éléments intéressants pour cet usage.

SPÉCIFICATIONS

Les spécifications sont décrites dans le Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisante (MRF) [1]. Il existe aussi une norme au Bureau de la normalisation du Québec (BNQ) sur les amendements minéraux calciques ou magnésiens [2]. Les analyses effectuées jusqu'à maintenant sur les fines ne permettent pas d'invalider cette voie, au contraire, elles semblent avoir un certain potentiel comme amendement.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Les analyses nécessaires pour une MRF sont : matière sèche, N total (NTK), N-NH ₄ , P ₂ O ₅ total, K ₂ O total, matière organique, pouvoir neutralisant, C/N, pH, aluminium, arsenic, bore, cadmium, cobalt, chrome, cuivre, fer, mercure, manganèse, molybdène, sodium, nickel, plomb, sélénium, zinc et dioxines & furannes.
Commentaires	Il existe sur le marché une pléiade de MRF, une certification sera possiblement nécessaire ce qui implique des coûts. Le soufre ne devrait pas générer de H ₂ S ni de problématiques d'odeurs en agriculture, car il s'agit d'un usage de surface, en milieu aérobie.
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen/long terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> o Possibilité de vendre la matière (3) o Évite des frais (2) o Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) o Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulée (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> o Élevée > 50 % (3) o Moyenne 10 à 50 % (2) o Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> o Oui (1): mais les agriculteurs devront être à proximité d'un centre de tri, sinon le transport sera trop dispendieux. o Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> o Élevées (3) o Moyennes (2) o Faibles (1) o Nulles (0)
Références	
1	Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf
2	Norme BNQ 0419-090/2005 Amendements minéraux – Amendements calciques ou magnésiens provenant de procédés industriels



Fines CRD : Béton recyclé

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Des agrégats recyclés sont couramment utilisés pour la fabrication du béton, en tamisant pour retirer les fines particules (< 2mm ou < 4mm) pour utilisation comme granulats grossiers. Toutefois plusieurs études montrent qu'il y a un potentiel pour l'utilisation des fines de béton recyclé et de fines de matériaux CRD mélangés comme granulats fins en remplacement du sable

Spécifications

Un des critères important à respecter pour l'utilisation à cette fin est de respecter la répartition granulométrique recommandée pour les différents types de béton selon la norme CSA (CSA A23.1) qui présente les limites de taille de granulat à utiliser, pour un béton conventionnel [1]. La granulométrie des fines est dans le bon ordre de grandeur pour cet usage. Il suffirait de tamiser à 80 microns pour enlever le surplus de particules très fines et s'assurer de retirer complètement les particules > 10 mm. Par ailleurs, il est permis par la norme de mélanger avec d'autres types de fines afin de correspondre aux critères, il serait donc possible d'ajouter du sable par exemple pour ajuster la granulométrie au besoin.

Les caractéristiques des fines CRD s'éloignant le plus du sable naturel serait la densité inférieure (densité inférieure de ≈5%, densité vrac inférieure de ≈20%) et surtout, l'absorption d'eau supérieure et plus variable (≈ 2 à 12% d'eau absorbée, dû à la présence de mortier, de gypse, de bois et autres contaminants). Cela représente et demande l'ajustement des recettes. Effectivement, l'eau absorbée par les fines n'est plus disponible pour réagir avec le ciment et on doit donc ajuster la quantité d'eau à la hausse.

Il a été montré que les fines CRD, qui contiennent beaucoup de contaminants, peuvent techniquement être utilisées comme agrégats recyclés s'ils sont tamisés d'abord pour enlever ces contaminants. Les fines ne montrent toutefois pas de potentiel pouzzolanique (i.e. capacité à réagir avec la chaux en présence d'eau, sans apport de chaleur, pour former des silicates de calcium et autres composés cimentaires) ; elles n'ont donc pas le potentiel de remplacement le liant (ciment), mais seulement les granulats fins (le sable) [2]. Quant aux contaminants, outre les contaminants grossiers de > 10 mm qui doivent être retirés, une étude réalisée au Portugal a montré que la présence élevée de chlorures solubles (jusqu'à 0,01 %) et de soufre (jusqu'à 0,6 %), étaient trop élevées pour les normes en vigueur [3]). Les fines ne pouvaient être utilisées telles quelles, mais pouvaient se conformer suite à un lavage préalable. Les résultats d'analyses ont montré que les fines CRD au Québec contiennent également des chlorures, et beaucoup plus de soufre que celles étudiées au Portugal (environ 0,1 % et 4 %, respectivement). Le tri sélectif du gypse en amont pourrait réduire grandement la teneur en soufre, mais les chlorures devraient tout de même être retirés par lavage. Étant donné que la fabrication de béton est un procédé humide nécessitant déjà un traitement d'eau, cette étape pourrait potentiellement se réaliser sur place avant son utilisation. Il à noter toutefois que les normes précises en vigueur au Québec pour le soufre et les chlorures ne sont pas connues pour l'instant. D'autre part, une étude mentionne aussi que la présence de bitume dans les fines contribue également à diminuer la performance du béton. Toutefois les analyses réalisées par le CTTÉI laissent croire que la teneur en bitume (et autres organiques) est très faible dans les fines CRD générées au Québec. Ce problème pourrait ne pas être majeur.

La plupart des essais de fabrication de béton avec des fines CRD ont montré des diminutions significatives des caractéristiques mécaniques. Toutefois dans certains cas la diminution est faible et pourrait être acceptable (ex. : diminution de 4% de la résistance à la compression dans une étude, diminution de 20 à 30% pour d'autres études) [2 à 4]. Les performances dépendant principalement du soin pris à la sélection des fines utilisées (ex. : tamisage préalable) et à l'ajustement des recettes pour teneur compte de l'absorption d'eau.

Étapes suivantes pour valider cette voie

Analyses supplémentaires nécessaires	Absorption d'eau, densité, essais de fabrication de cylindres de béton et comparaison des performances.
Commentaires	<p>L'utilisation de fines CRD comme agrégats fins recyclés pour la fabrication du béton est techniquement possible et pourrait être étudiée davantage. Ce débouché aurait l'avantage d'écouler de très grandes quantités de fines, dans toutes les régions du Québec. Des démarches de recherche et développement seraient toutefois nécessaires:</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'effet des chlorures et du soufre sur les performances devrait être étudié davantage. • Le retrait du gypse en amont pourrait faciliter ce débouché ; • Un tamisage supplémentaire à < 10 mm et > 80 um serait vraisemblablement nécessaire; • Un mélange avec du sable serait envisageable;

Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) : un tamisage sera aussi nécessaire <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) – le sable a un coût très faible <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) : Dépendamment du potentiel de substitution <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	NORME CSA A23.1. Béton : constituants et exécution des travaux ; Méthodes d'essai et pratiques normalisées pour le béton / Groupe CSA.
2	Bianchini, G., Marrocchino, E., Tassinari, R., & Vaccaro, C. (2005). Recycling of construction and demolition waste: a chemical-mineralogical appraisal. Waste Management, 25, 149–159.
3	Fernando Rodrigues et al. (2013). Physical, chemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants. Journal of Cleaner Production
4	L. Evangelista & J. de Brito (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review, European Journal of Environmental and Civil Engineering, 18:2, 129-172.



Fines CRD : Capatation SO₂ et phosphore

DESCRIPTION DE LA VOIE DE LA MISE EN VALEUR

L'industrialisation et les activités humaines émettent des contaminants, une des tendances est de les capter à la source afin de limiter leurs impacts sur l'environnement. Le potentiel de captation du SO₂ dans les effluents gazeux industriels et du phosphore dans les effluents aqueux ont été exploré pour les fines de CRD.

Spécifications

Captation SO₂

Dans la plupart des procédés de désulfuration, une source de calcaire est utilisée. Selon Lin [1], les avantages des fines CRD seraient :

- une grande surface spécifique;
- la présence de CHS (résidu de béton);
- la présence de silice amorphe.

Par contre, la présence de chaux hydratée (matériau de captation traditionnellement utilisé), est probablement faible dans les fines CRD. La maturité technologique de cette voie est actuellement au niveau de la recherche et du développement. À court terme, elle n'est donc pas envisageable.

Phosphore

Le CTTÉI a une subvention de recherche du CRSNG sur la captation du phosphore à partir de résidus dans les marais filtrants artificiels. Les fines de CRD seront testées dans le cadre de ce projet à partir de la méthode ASTM D4646 - 03 : *Standard test method for 24-h batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments*. Dans le cadre de ce projet il a été identifié que le Ca, Mg, Fe et Al ont un potentiel de captation du phosphore, mais que la granulométrie doit être supérieure à 1 mm.

L'article 37 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2, r.8) définit les règles de fabrication des champs d'épuration faits de sable filtrant et indique que « le sable filtrant doit respecter les caractéristiques suivantes :

- i. Le diamètre effectif est compris entre 0,25 et 1 mm;
- ii. Le coefficient d'uniformité est inférieur ou égal à 4,5;
- iii. Moins de 3 % des particules ont un diamètre inférieur à 80 µm;
- iv. Moins de 20 % des particules ont un diamètre supérieur à 2,5 mm ». [2]

Cette voie est donc prometteuse, mais n'est pas encore au stade de transfert technologique.

Étapes suivantes pour valider cette voie

Analyses supplémentaires nécessaires	SO ₂ : quantifier la présence de chaux hydratée, de silice amorphe et de CHS. Phosphore : ASTM D4646 - 03 (réalisation déjà prévue au CTTÉI, sans frais supplémentaire)
Commentaires	Les résultats du test de captation du phosphore seront disponibles d'ici le 1 ^{er} juillet 2016.

Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) : il faut valider la dureté <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	Lin, R.-B., Shish, S.-M. and Liu, C.-F. Characteristics and reactivities of Ca(OH) ₂ /silica fume sorbents for low-temperature flue gas desulfurization, Chemical Engineering Science. 2003, 58, 3659-3668
2	L'article 37 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2, r.8) http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R22.HTM



Fines CRD : Matière de charge

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Le carbonate de calcium est utilisé comme matière de charge dans la fabrication de plusieurs produits, puisqu'il est inerte, peu dispendieux et disponible.

SPÉCIFICATIONS

Le plastique est un matériau très utilisé et on y ajoute parfois de la matière de charge afin de diminuer les coûts, pour le rendre ignifuge, pour augmenter sa résistance en compression, etc. La finesse du matériel serait probablement un avantage pour cette application. Il faudrait valider l'abrasion créée par la poudre de béton sur les parois métalliques des équipements (injection, extrudeuse), mais le talc, le CaCO₃ et d'autres céramiques sont déjà utilisés sans inconvénient majeur. Des tests de développement seraient nécessaires pour étudier le comportement du mélange avec des thermoplastiques au moyen d'une extrudeuse bi-vis. Notamment, le Centre de technologie minérale et de plasturgie de Theftford Mines peut effectuer ce genre d'essais. Par contre, s'il s'agit d'effectuer des combinaisons avec du polyester ou de l'époxyde (plastiques composites therm durcissables), l'expertise se trouve plutôt au Centre de développement des composites du Québec de St-Jérôme.

On ajoute aussi de la matière de charge dans la peinture, mais des tests devraient être faits afin de valider que l'altération de couleur n'est pas trop marquée et évaluer la déstabilisation de la peinture. Si les résultats sont bons, le résidu pourrait être utilisé autant dans la peinture recyclée que vierge (commerciale, architecturale et industrielle). En massique, l'ajout du résidu serait de 2,5 à 5 % de la production pour la peinture non lustrée (semi-lustre à mat). La granulométrie doit être inférieure à 100 microns afin de ne pas colmater les filtres [1].

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	À voir selon les spécifications des preneurs potentiels.
Commentaires	Si cette voie est sélectionnée, il faudra contacter des preneurs potentiels et valiser leurs spécifications. Notamment, l'effet du soufre, des halogènes et autres contaminants en trace dans les fines sera à étudier.
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) : selon les spécifications des preneurs potentiels <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) : essais en laboratoire et possiblement développement de produits. <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) : Il pourrait avoir des réticences à retrouver des fines CRD dans des produits finis. <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> 0 Possibilité de vendre la matière (3) 0 Évite des frais (2) : la valeur du carbonate de calcium est basse [2] 0 Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) 0 Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulée (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevée > 50 % (3) 0 Moyenne 10 à 50 % (2) 0 Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> 0 Oui (1) 0 Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevées (3) 0 Moyennes (2) : Évite l'utilisation d'une matière vierge 0 Faibles (1) 0 Nulles (0)
Références	
1	Discussion avec de LaurentideRe/Sources, Sylvain Gagnon, technicien chimiste, labo, 819 758.5497, sylvain.bousquet@laurentide.co
2	Willett, Jason W. 2013 MineralsYearbook; Stone, Crushed, USGS, avril 2015 < http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/myb1-2013-stonc.pdf >



DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Les cimenteries utilisent de grandes quantités de matière minérale pour la fabrication du clinker dans leurs fours.

SPÉCIFICATIONS

La forte teneur en calcium des fines CRD pourrait en faire une matière intéressante pour la fabrication du clinker, en remplacement du calcaire (CaCO_3) utilisé comme principale matière première. La teneur en soufre risque d'être un facteur limitant pour cette utilisation, pour limiter le dégagement de SO_2 lors des réactions à haute température dans le four. Les halogènes et métaux lourds sont également à surveiller, selon les critères des cimenteries. De plus, les matières premières sont ajoutées à l'entrée froide du four, où la teneur en matière organique (< 5%) et la teneur en eau doivent être faibles. La teneur en Na et K serait aussi à surveiller.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Plusieurs analyses seront nécessaires selon les spécifications des cimentiers et les critères du MDDELCC.
Commentaires	Les cimenteries offre un service et s'attendent à être payés pour accepter une matière dans leurs opérations.
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) : Il faut cibler les particules à 5mm, mais pourrait être plus complexe s'il faut enlever le gypse <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D long terme (3) <input type="radio"/> R & D moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) : Il faut valider les spécifications des cimentier <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> 0 Possibilité de vendre la matière (3) 0 Évite des frais (2) : La valeur d'un abrasif est très faible environ 6 \$ la tonne [3] 0 Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) 0 Plus cher que le recouvrement journalier (0) : Les cimenteries se font généralement payés 40 \$/tonne pour accepter une matière.
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevée > 50 % (3) : Les quantités de ciment produites annuellement au Québec se situent généralement entre 2 500 kt et 3 000 kt, donc même avec un faible ratio de substitution on pourrait atteindre de grandes quantités [1]. 0 Moyenne 10 à 50 % (2) 0 Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> 0 Oui (1) : Il y a présentement 3 cimenteries au Québec (CRH, LafargeHolcim et Ciment Québec) et une quatrième en construction. 0 Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevées (3): 0 Moyennes (2) 0 Faibles (1) : Évite l'utilisation d'une matière vierge 0 Nulles (0)
Références	
1	Énergie et Ressources naturelles Québec. Le ciment - Expéditions du Québec et prix https://www.mern.gouv.qc.ca/mines/statistiques/substance/substance-ciment.jsp



Fines CRD : Séquestration du CO₂

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Le CO₂ contribue au réchauffement planétaire et on cherche à capter ses émissions anthropiques. Il pourrait être possible d'utiliser le potentiel de carbonatation des hydroxydes de calcium contenus dans les fines de CRD pour former des carbonates de calcium. Le CTTÉI a une expertise dans le domaine, ayant réalisé un projet R&D sur la séquestration de CO₂ à partir de résidus métallurgiques, avec divers partenaires industriels.

Spécifications

Les avantages des fines de CRD sont la finesse des particules et la présence d'eau. Par contre, cette technologie est au stade pilote et des débouchés pour la matière carbonatée devront être trouvés.

Il est possible d'évaluer le potentiel théorique de séquestration du CO₂ par un calcul basé sur la présence d'espèces réactives (CaO, MgO, Na₂O et K₂O). [1]

Il faudrait donc connaître les concentrations de ces minéraux dans les fines CRD. Le CTTÉI pourrait valider cette voie en laboratoire.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Concentration du CaO, MgO, Na ₂ O et K ₂ O
Commentaires	Une voie de mise en valeur du résidu carbonaté devra être trouvée, par contre avec l'avènement marché du carbone cette voie pourrait servir de positionnement
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) : C'est du très long terme. <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> 0 Possibilité de vendre la matière (3) 0 Évite des frais (2) : Il faut tenir en compte le crédit carbone 0 Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) 0 Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulée (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevée > 50 % (3) 0 Moyenne 10 à 50 % (2) : Si des projets de captation du CO₂ vont de l'avant une grande quantité de matière sera nécessaire. 0 Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> 0 Oui (1) 0 Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevées (3) 0 Moyennes (2) 0 Faibles (1) 0 Nulles (0)
Références	
1	Huntzinger, D.N., Gierke, J.S., KomarKawatra, S., Eisele, T.C. and Sutter, L.L. Carbon dioxide sequestration in cement kiln dust through mineral carbonation. Environmental Science & Technology, 2009, vol. 43(6), p. 1986-1992.



DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Avec le bannissement des matières organiques putrescibles des sites d'enfouissement au Québec dès 2020, la production de compost ira en augmentant. Le compostage demande un apport d'oxygène et les matières putrescibles sont généralement placées en andains. Afin de les stabiliser, on y ajoute des matières structurantes telles que des copeaux de bois et autres matières bénéfiques pour le compost. L'ajout de copeaux de bois est également parfois nécessaire pour obtenir un ratio C/N acceptable.

Spécifications

Seule la fraction plus grossière des fines pourrait servir à cette voie, car l'apport en oxygène par l'apport en fines particules ce qui ne serait pas souhaitable. La présence de contaminant sera aussi un facteur limitant et le compost ne doit pas contenir de corps étranger supérieur à 2 mm [1]. Le gypse et le béton apporteraient une source de soufre et de calcium et possiblement un pouvoir neutralisant. Des tests agronomiques devraient être effectués, notamment le pouvoir neutralisant et la teneur maximale en contaminants organiques.

Tableau 1 : Teneurs limites en contaminants chimiques (catégories C1 et C2¹) pour les composts non certifiés par le BNQ [1]

Contaminants	Unités	Teneurs limites	
		Catégorie C1	Catégorie C2
Arsenic (As)	mg/kg (b.s.)	13	41
Cadmium (Cd)	mg/kg (b.s.)	3	10
Cobalt (Co)	mg/kg (b.s.)	34	150
Chrome (Cr)	mg/kg (b.s.)	210	1 060
Cuivre (Cu)	mg/kg (b.s.)	400	1 000 (1 500 ²)
Mercure (Hg)	mg/kg (b.s.)	0,8	4
Molybdène (Mo)	mg/kg (b.s.)	5	20
Nickel (Ni)	mg/kg (b.s.)	62	180
Plomb (Pb)	mg/kg (b.s.)	150	300
Sélénium (Se)	mg/kg (b.s.)	2	14 (25 ²)
Zinc (Zn)	mg/kg (b.s.)	700	1 850
Dioxines et furannes ³	ng EQT/kg (b.s. ⁴)	17	50 (100 usages non agricoles)

1 Information tirée du Guide MRF (MDDEP, 2012).

2 La valeur entre parenthèses s'applique aux composts contenant plus de 2,5 % de P₂O₅ (base sèche).

3 L'analyse des dioxines et furannes n'est requise qu'avec l'utilisation de certains intrants. Voir le tableau de l'annexe 6.

4 Équivalents toxiques internationaux (EQT).

Selon les analyses effectuées à la phase 1, le plomb et le cuivre pourraient être problématiques.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Des tests agronomiques seront nécessaires. Corps étranger et corps étranger tranchant (CAN/BNQ 0413-200) Les analyses nécessaires pour un MRF sont : matière sèche, N total (NTK), N-NH ₄ , P ₂ O ₅ total, K ₂ O total, matière organique, pouvoir neutralisant, C/N, pH, aluminium, arsenic, bore, cadmium, cobalt, chrome, cuivre, fer, mercure, manganèse, molybdène, sodium, nickel, plomb, sélénium, zinc et dioxines & furannes [2].
Commentaires	En compostage, le soufre ne générerait pas de H ₂ S ni de problèmes d'odeur, étant donné qu'il s'agit d'un procédé aérobie.

Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D long terme (3) <input type="radio"/> R & D moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0) : Les sites de compostage charge environ 40 \$/tonne.
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) : Pourrait être en hausse à cause du bannissement des matières putrescibles dans les sites d'enfouissement. <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	LIGNES DIRECTRICES POUR L'ENCADREMENT DES ACTIVITÉS DE COMPOSTAGE http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/valorisation/lignesdirectrices/compostage.pdf
2	Guide sur les matières résiduelles fertilisantes http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf



Fines CRD : Enrobés bitumineux à chaud

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Les routes du Québec sont recouvertes en majorité par des enrobés bitumineux à chaud. Ce produit est constitué d'un mélange de granulats enrobés d'une émulsion de bitume, à chaud.

Spécifications

Il existe plusieurs types d'enrobés à chaud. Les plus utilisés au Québec sont l'enrobé de surface de type ESG-10, comportant des granulats < 10 mm et 5,65 % bitume, ainsi que l'enrobé GB-20, qui comporte des granulats < 20 mm et 4,77 % de bitume (ce dernier servant de couche de base sous la couche de roulement). La granulométrie demandée par le MTQ pour les granulats des enrobés ESG-10 est similaire à celle des fines CRD (100% passant 14 mm, 4-10% passant 80 microns), tel que peut être constaté dans le tableau suivant [1]. À première vue, il semblerait donc envisageable d'utiliser des fines de CRD en remplacement partiel ou complet des agrégats naturels dans les enrobés à chaud. Toutefois, la norme du MTQ ne précise pas l'effet de contaminants (ex. : soufre et chlorures) sur la qualité du bitume et ces informations devraient être investiguées.

Outre les aspects techniques, des freins économiques et réglementaires importants pourraient empêcher ce débouché de se concrétiser. En effet, d'autres matières résiduelles mieux qualifiées que les fines CRD sont disponibles au Québec pour cet usage, tel que les fines de bardeau par exemple. Malgré que leur contenu en bitume ($\approx 20 - 30 \%$) les rend très intéressants d'un point de vue économique, cette voie de recyclage a de la difficulté à s'implanter au Québec, du aux critères techniques exigés par le MTQ et aux analyses de la qualité de l'air exigées par le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) du MDDELCC. De plus, étant un procédé à chaud, les nombreux contaminants présents dans les fines (incluant, encore une fois le soufre et les chlorures) seraient susceptibles d'empêcher leur utilisation.

Type d'enrobé	GB-20	ESG-14	ESG-10	EG-10	EC-10	SMA-10	ESG-5	EGM-10	EC-5	Méthode d'essai
Usages	Couche de base	Couche unique, couche de surface ou couche de base	Couche de surface	Couche de surface	Couche de correction	Couche de surface	Couche antifissure	Couche de surface (intervention palliative)	Rapiéçage manuel ou couche de correction	
Nombre minimal de classes granulaires distinctes à utiliser ⁽¹⁾	3	3	2	2	2	2	2	2	1	
Tamis	(% passant)									
Fuseau granulométrique	28 mm	100								
	20 mm	95-100	100							
	14 mm	67-90	95-100	100	100	100	100	100		
	10 mm	52-75	70-90	92-100	90-100	94-100	90-100	100	90-100	100
	5 mm	35-50	40-60	52-65	40-48	66-78	25-35	85-100	35-45	90-100
	2,5 mm	—	—	—	—	45-65	min. 18	50-70	min. 20	65-90
	80 µm	4,0-8,0	3,0-8,0	4,0-10,0	4,0-10,0	4,0-10,0	8,0-11,0	4,0-12,0	5,0-11,0	4,0-12,0
Zone de restriction ⁽²⁾	2,5 mm ⁽²⁾	—	39,2	46,1	46,1	—	—	—	—	—
	1,25 mm ⁽²⁾	—	25,7-31,7	30,7-36,7	30,7-36,7	—	—	—	—	—
	630 µm ⁽²⁾	—	19,1-23,1	22,8-26,8	22,8-26,8	—	—	—	—	—
	315 µm ⁽²⁾	—	15,4	18,1	18,1	—	—	—	—	—
Pourcentage de fibres (%) ⁽²⁾						en révision		—	—	
V _{be} (%) ⁽⁶⁾	10,2	11,4	12,2	12,4	12,6	en révision	14,0	11,3	13,3	
Vides à 10 girations (%)	≥ 11,0	≥ 11,0	≥ 11,0	≥ 11,0	≥ 11,0	en révision	(6 g) ≥ 11,0	≥ 11,0	≥ 11,0	LC 26-003
Vides à 80 girations (%)		—	4,0-7,0	4,0-7,0	4,0-7,0	en révision	(50 g) 4,0-7,0	4,0-7,0	4,0-7,0	LC 26-003
Vides à 100 girations (%)		4,0-7,0	—	—		en révision		—	—	LC 26-003
Vides à 120 girations (%)	4,0-7,0					en révision		—	—	
Vides à 200 girations (%) ⁽²⁾	≥ 2,0	≥ 2,0	≥ 2,0	≥ 2,0	≥ 2,0	en révision	(75 g) ≥ 2,0	≥ 2,0	≥ 2,0	LC 26-003

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	LC 26-003
Commentaires	Le CTTÉI est d'avis que, que l'utilisation des fines CRD comme granulat recyclé aurait un meilleur potentiel de réussite dans la filière du béton et des enrobés bitumineux à froid que celle des enrobés bitumineux à chaud.
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D long terme (3) <input type="radio"/> R & D moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) : MTQ et les villes via les fabricants d'enrobés bitumineux <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	Transports Québec. Enrobés à chaud formulés selon la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées. Tome VII, Chapitre 4, Norme 4202, date 2015/12/15.



Fines CRD : Enrobés bitumineux à froid

DESCRIPTION DE LA VOIE DEMISE EN VALEUR

Afin de diminuer les GES la tendance est de diminuer la température de mise en place des enrobés bitumineux.

Spécifications

Une étude très récente a testé l'incorporation de résidus de CRD dans la formulation d'enrobés bitumineux coulés à froid [1]. Bien que peu répandu au Québec actuellement, l'usage de ce type d'enrobés permettrait des avantages économiques et environnementaux sur les enrobés à chaud. Actuellement, ce type de produit semble être utilisé surtout pour des usages marginaux, en petite quantité (réparation des nids-de-poule, pourtours de puisard, etc.) [2]. Une étude, réalisée en Espagne, visait l'utilisation d'un résidu fin ayant certaines similitudes avec les Fines CRD générés au Québec. La granulométrie des deux produits est similaire et les principaux composants sont semblables. Toutefois, les fines du Québec contiennent beaucoup plus de gypse, et possiblement plus de bois, plastiques et métaux. L'incorporation de ces fines comme granulats dans les enrobés à froid a abouti à d'excellents résultats. Malgré que les fines aient une absorption d'eau supérieure, elles permettaient l'obtention d'enrobés ayant une rigidité supérieure qu'avec des granulats naturels.

Ces résultats sont encourageants pour l'usage de fines dans les enrobés à froid. Le procédé à froid permet de croire en une réglementation moins sévère au sujet des contaminants en trace. De plus, la granulométrie des fines CRD recoupe également celle exigée par le MTQ pour ce type d'enrobés [2].

Tableau 4501-1
Caractéristiques des enrobés à froid

Caractéristiques	Exigences	Méthodes d'essai
a) Physiques		
Maniabilité	- minimum 4,0 joules ⁽¹⁾ - maximum 6,5 joules ⁽¹⁾ (ou 7,5 joules) ⁽²⁾	LC 26-016
Cohésion	- minimum 90% - pas d'affaissement	LC 26-015
b) Granulométriques		
Tamis	(% passant)	LC 26-007
14 mm	100	
10 mm	95-100	
5 mm	45-65	
2,5 mm	—	
1,25 mm	15-25	
630 µm	—	
315 µm	—	
160 µm	—	
80 µm	maximum 5,0	

1. Mesurée au moins deux semaines après la date de production.

2. Mesurée deux mois ou plus après la date de production.

Étapes suivantes pour valider cette voie

Analyses supplémentaires nécessaires	Densité (LC 21-065 et LC 21-067), Essai de cohésion (LC 26-015), Essai de maniabilité (LC-016), etc.
Commentaires	Ce marché semble encore marginal. Il pourrait s'agir d'un débouché intéressant pour le futur, étant donné que les enrobés à froids pourraient gagner en popularité, pour le micro-surfage des routes par exemple, permettant d'allonger la durée de vie de nos enrobés. Un avis du MTQ et du Laboratoire sur les Chaussées et Matériaux Bitumineux (LCBM) de l'ÉTS pourrait permettre d'évaluer la pertinence de ce débouché pour l'avenir, en fonction des demandes anticipées en enrobés à froid.

Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) : les travaux routiers sont dépendent des conditions météorologiques et des financements gouvernementaux <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) : Diminution de GES, substitution de matière <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	B. Gomez-Meijide et al. / Journal of Cleaner Production 112 (2016)
2	Trasnports Québec. Enrobés pour rapiécage à froid. Tome VII, Chapitre 4, Norme 4501, date 2014/12/15



Fines CRD :Géopolymères

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

Les géopolymères sont des matériaux alternatifs au béton traditionnel. Ils sont formés par la réaction chimique des aluminosilicates, en milieu alcalin, pour former des structures polymériques constituées de liens Si – O – Al. Les géopolymères suscitent un intérêt marqué des chercheurs et industriels à travers le monde et on y voit un potentiel élevé de matériau intéressant pour le futur. Les géopolymères sont simples à fabriquer, ne requièrent pas de chauffage intensif comme pour la fabrication du ciment Portland, et ont de faibles impacts environnementaux [1 à 3]. Puisque les résidus industriels inorganiques sont considérés comme des matières premières intéressantes pour la fabrication de géopolymères, ce débouché a été exploré pour les fines CRD.

Spécifications

Une étude particulièrement intéressante a testé la fabrication de géopolymères à partir de 3 types de résidus CRD broyés, soit : résidus de béton, de briques et de tuiles, et ce dans différentes conditions [1]. Il a été trouvé que d'excellents résultats peuvent être obtenus à partir de briques (résistance à la compression jusqu'à 50 MPa) et des tuiles (résistance à la compression jusqu'à 58 MPa). Ces performances sont supérieures à plusieurs types de bétons et permettrait l'usage pour des matériaux structuraux. Toutefois, l'essai des résidus de béton n'a pas été aussi concluant, les matériaux conçues n'étaient pas de qualité suffisante (< 13 MPa de résistance à la compression). Cela s'explique par la teneur beaucoup plus faible en alumine et en silice de ce dernier résidu par rapport aux deux autres (voir tableau).

Les analyses des fines CRD ont montré leur teneur en alumine (0,6 % Al, équivaut $\approx 1,1$ % Al_2O_3) et en silice (0,4% Si, équivaut à $\approx 0,8$ % SiO_2) sont encore plus faibles que les résidus de béton.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Des projets de recherches seraient nécessaires pour la fabrication de géopolymères à partir de fines CRD.
Commentaires	Le CTTÉI invalide cette voie de mise en valeur : les fines ne présentent pas les caractéristiques chimiques recherchées pour la conception de géopolymères de qualité.



DESCRIPTION DE LA VOIE

Une litière est utilisée en élevage pour assurer le confort des animaux, absorber les liquides et réduire les odeurs. Des copeaux de bois sont généralement utilisés, mais la fluctuation des coûts du bois a poussé les éleveurs à se tourner vers des matières alternatives et complémentaires.

Spécifications

Il existe plusieurs critères à respecter pour qualifier une matière comme litière. Le tableau suivant tiré du Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes – Édition 2015 les résume parfaitement [1].

Critères d'utilisation de MRF comme litière pour les animaux d'élevage lorsqu'une demande de CA est exigée [1]

Objectifs	Critères
Absorber les liquides.	>40% matière sèche (ne s'applique pas pour le bois de cour de scieries)
Absorber les liquides et assurer le confort des animaux.	>50% matière organique, base sèche (ne s'applique pas pour le bois de cour de scieries)
Immobiliser ou adsorber l'azote ammoniacal et réduire les odeurs.	C/N >30, ou composts matures (voir le tableau 8.3)
Protéger les animaux, les éleveurs et le sol.	Classe C1-P1-O1-E1 ou C2-P1-O1-E1 ou compost certifié BNQ
Assurer le confort des animaux et prévenir les troubles d'élevage particuliers comme les mammites (élevages laitiers) ou les problèmes respiratoires chez l'humain ou les animaux dus aux bioaérosols.	Lettre d'un médecin vétérinaire qui s'engage à aviser la direction régionale en cas de problèmes particuliers.

Les fines de CRD ne satisfont pas le critère sur la composition en matière organique. Par contre, avant d'invalider cette voie, il serait pertinent d'évaluer son pouvoir absorbant (norme ASTM F726-12 Standard Test Methods for Sorbent Performance of Absorbents). Par contre, le résidu étant initialement humide, un séchage préalable serait probablement nécessaire, ce qui rendrait cette voie vraisemblablement non rentable économiquement même s'il avait véritablement une propriété absorbante. Peu d'efforts ont donc été consacrés à la recherche d'information pour ce débouché.

Étapes suivantes pour valider cette voie

Analyses supplémentaires nécessaires	Pouvoir absorbant (ASTM F725-12), captation d'odeur.
Commentaires	La litière doit être sans danger pour les animaux. Il pourrait être difficile d'enlever tous corps étrangers potentiellement nocifs contenus dans les fines CRD (clous, vis, verre, etc) Il est possible que les fines CRD puissent servir d'épaississant de purin et digestat.

Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) : Il faudra possiblement un tamisage et un séchage <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)
Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<input type="radio"/> Possibilité de vendre la matière (3) <input type="radio"/> Évite des frais (2) <input type="radio"/> Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) <input type="radio"/> Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<input type="radio"/> Élevée > 50 % (3) <input type="radio"/> Moyenne 10 à 50 % (2) <input type="radio"/> Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<input type="radio"/> Oui (1) : possiblement plusieurs preneurs de petites quantités en comparaison au gisement <input type="radio"/> Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<input type="radio"/> Élevées (3) <input type="radio"/> Moyennes (2) <input type="radio"/> Faibles (1) <input type="radio"/> Nulles (0)
Références	
1	Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes – Édition 2015



Fines CRD : Remplissage de sablères et carrières / Drainage minier acide

DESCRIPTION DE LA VOIE DE MISE EN VALEUR

La restauration des carrières et des sablières en fin de vie est devenue obligatoire au Québec avec l'entrée en vigueur du Règlement sur les carrières et sablières.

Spécifications

Selon le Règlement sur les carrières et sablières (L.R.Q., c. Q-2, a. 23 et a. 31, par. c, e et f) le remblayage doit se faire par les matières suivantes [1] :

- i. de la terre, du sable, du gravier ou de la pierre;
- ii. des résidus de nature minérale issus de l'extraction d'agrégats;
- iii. des boues générées par les bassins de sédimentation utilisés dans les procédés d'extraction d'agrégats ou de transformation de pierre de taille, dont la siccité est égale ou supérieure à 15 % et qui, lorsque mises à l'essai par un laboratoire accrédité par le ministre en vertu de l'article 118.6 de la Loi, ne contiennent pas de liquide libre;
- iv. des particules de nature minérale récupérées par un système d'épuration d'air et issues du concassage et du tamisage d'agrégats, de pièces de béton de ciment ou de brique, à l'exception de la brique réfractaire; et restauration de la couverture végétale de la surface;

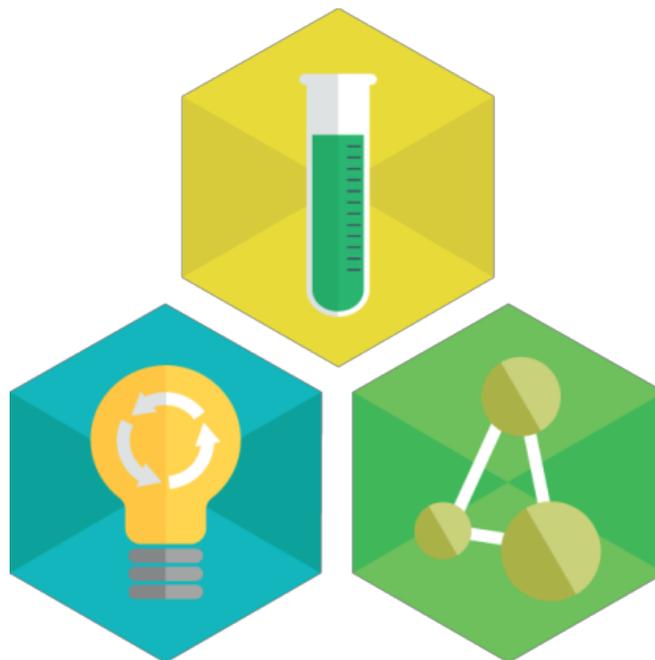
Les fines CRD ne sont pas incluses dans cette liste de matières. Il serait nécessaire de connaître les propriétés idéales d'une matière de remplissage est les comparer avec celles des fines CRD.

De plus, le Québec regorge de richesses dans ses sols tels qu'en fait foi le nombre de mines en exploitation. Cependant, l'extraction ne se fait pas sans effet sur l'environnement et les sites doivent être surveillés lors de l'exploitation et restaurés lors de la fin de vie utile d'une mine. Un des phénomènes connus et qui engendre des problématiques environnementales lorsqu'il n'est pas traité est le drainage minier acide. Il serait donc intéressant de valider si les fines de CRD peuvent aider à contrer ce phénomène.

Étapes suivantes pour valider cette voie	
Analyses supplémentaires nécessaires	Capacité tampon, propriété hydraulique.
Commentaires	
Efforts estimés pour implanter cette voie	
Niveau de transformation nécessaire	<input type="radio"/> Lavage ou autre décontamination (3) <input type="radio"/> Broyage ou séchage (2) <input type="radio"/> Tamisage (1) <input type="radio"/> Tel quel (0)
Maturité technologique	<input type="radio"/> R & D, long terme (3) <input type="radio"/> R & D, moyen terme (2) <input type="radio"/> À tester, court terme (1) <input type="radio"/> Validée (0)
Demande stable et continue	<input type="radio"/> Non(1) <input type="radio"/> Oui (0)
Aspect réglementaire et acceptation sociale	<input type="radio"/> Modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3) <input type="radio"/> Modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2) <input type="radio"/> Demande de C.A. (1) <input type="radio"/> Aucune (0)

Bénéfices potentiels de l'implantation de cette voie	
Retombées économiques	<ul style="list-style-type: none"> 0 Possibilité de vendre la matière (3) 0 Évite des frais (2) 0 Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1) : L'acceptation de la matière ne sera pas nécessairement sans frais. 0 Plus cher que le recouvrement journalier (0)
Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevée > 50 % (3) 0 Moyenne 10 à 50 % (2) 0 Basse < 10 % (1)
Preneurs multiples	<ul style="list-style-type: none"> 0 Oui (1) 0 Non (0)
Retombées environnementales (Concordance avec les 3R-V, GES, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> 0 Élevées (3) 0 Moyennes (2) 0 Faibles (1) : substitution d'une matière vierge 0 Nulles (0)
Références	
1	http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/reglement/carriere-sabliere.pdf

ANNEXE 4 – RAPPORT TECHNIQUE DES ANALYSES EN LABORATOIRE



RAPPORT FINAL

Assistance TECHNIQUE

Évaluation des alternatives de valorisation des résidus de criblage fin issus des centres de tri des déchets de construction, de rénovation et de démolition.

ctt*éi*

EXPERT EN LA MATIÈRE

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

N° DU RAPPORT : 2015-2016 / 250

Ce rapport a été préparé par le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTEI) et les droits d'auteur appartiennent au CTTEI. Il contient des informations confidentielles et ne peut être reproduit, cité, distribué, adapté ou traduit en tout ou en partie, ni être utilisé pour d'autres usages sans l'autorisation expresse du client.

Tous les efforts ont été déployés par le CTTEI afin d'assurer l'exactitude de l'information incluse dans le rapport et les avis et opinions exprimés dans le rapport sont uniquement ceux du CTTEI.

TITRE ET SOUS-TITRE

Évaluation des alternatives de valorisation des résidus de criblage fin issus des centres de tri des débris de construction, de rénovation et de démolition.

34 pages + annexes



CLIENT

Chamard Stratégies environnementales

TYPE DE PROJET

Assistance technique

TYPE DE RAPPORT

Final

DATE DU RAPPORT

Date

PÉRIODE DE TRAVAIL

Septembre 2015 à Février 2017

AUTEUR(S)

Édith Leclerc, ing.

Claude Maheux-Picard, ing., M. Sc. A.

Pascal Lemoine, chimiste, M. Sc.

COLLABORATEUR(S)

Jean-François Vermette, biophysicien, M. Sc.

Julie Gendron, chimiste

Marc Olivier, chimiste, M. Sc., M. Env.

SIGNATURES

Directrice technique

Claude Maheux-Picard, ing., M. Sc. A.

Chargée de projets

Édith Leclerc, ing.

Chargé de projets

Pascal Lemoine, chimiste, M. Sc.

Chef de projets

Jean-François Vermette, biophysicien, M. Sc.

Chef de laboratoire

Julie Gendron, chimiste

Professeur-chercheur

Marc Olivier, M. Sc., M. Env.

CENTRE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE EN ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

3005, boul. de Tracy, Sorel-Tracy (Québec) J3R 1C2, Canada
450 551-8090, poste 3516
Info@cttei.com

WWW.CTTEI.COM



SOMMAIRE

Actuellement, les fines CRD servent majoritairement de matière de recouvrement pour les lieux d'enfouissement technique (LET) ou les lieux d'enfouissement de débris de construction et démolition (LEDCE). Ce projet a pour but de caractériser les fines afin de diversifier leurs utilisations. À partir des propriétés et de la composition des fines, plusieurs voies de mise en valeur ont été proposées. Celles-ci ont été comparées à l'aide d'une grille de critères d'efforts et de bénéfices. Suite à cet exercice, trois voies ont été sélectionnées : abrasif de voirie, matière alternative secondaire pour le ciment et matière de remplissage pour carrières et sablières. Des analyses supplémentaires ont été effectuées afin de valider ces voies. Telles quelles, les fines analysées ne respectent pas les critères de sol « A », ce qui limite les applications. L'hétérogénéité des fines CRD et la diversité des types de centres de tri complexifient l'analyse des résultats, mais il s'avère que pour augmenter l'utilisation des fines CRD dans d'autres applications un tri à la source devra être effectué, notamment en enlevant le gypse et les bardeaux.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. Caractéristiques générales des résidus de criblage fin.....	3
1.1. Méthodologie d'échantillonnage.....	3
1.2. Composition des résidus de criblage fin.....	6
1.3. Granulométrie (Phase 1).....	7
1.4. Analyses chimiques.....	9
1.4.1. Analyse élémentaire (digestion acide + ICP) Phase 1.....	9
1.4.2. Lixiviation (TCLP – Toxicity characteristic leaching procedure) (Phase 1)....	11
1.4.3. Calorimétrie, halogènes et soufre (Phase 1).....	11
1.4.4. Teneur en eau & Perte au feu.....	12
1.4.5. Formaldéhyde sur la fraction $\geq 4,75$ mm (phase 2).....	13
1.4.6. Teneur en sulfates solubles à l'eau sur la fraction $< 4,75$ mm (phase 2).....	13
1.4.7. Hydrocarbures aromatiques polycycliques $< 4,75$ mm (phase 2).....	14
1.4.8. Composés phénoliques $< 4,75$ mm.....	15
1.4.9. Hydrocarbures pétroliers sur la fraction $< 4,75$ mm.....	16
1.4.10. LC-21-040, LC 21-101 et LC-21-400.....	16
1.4.11. Dureté $\geq 4,75$ mm.....	18
1.5. Analyses reçues des centres de tri lors des visites.....	18
2. Filières potentielles de valorisation.....	19
2.1. Identifications de filières potentielles.....	19
2.2. Filières présentant des possibilités de valorisation.....	25
3. Étude des Filières retenues.....	26
3.1. Abrasifs routiers.....	26
3.2. Ciment - Matière première alternative.....	27
3.3. Remplissage de carrières et sablières.....	27
3.4. Captation phosphore.....	28
3.5. Récapitulation.....	29
CONCLUSION	31
RECOMMANDATIONS	31
RÉFÉRENCES	33

ANNEXES

ANNEXE 1	Photos de la caractérisation visuelle
ANNEXE 2	Analyses reçues des centres de tri visités
ANNEXE 3	Fiches des voies de mise en valeur
ANNEXE 4	Essais d'adsorption du phosphate par des fines CRD

TABLEAUX

TABLEAU 1 Dates d'échantillonnage	5
TABLEAU 2 Résumé de la caractérisation visuelle sur les quatre échantillons (phase2).....	6
TABLEAU 3 Granulométrie détaillée	8
TABLEAU 4 Pourcentage passant	9
TABLEAU 5 Analyse élémentaire (digestion acide + ICP)	10
TABLEAU 6 Résultats de lixiviation TCLP	11
TABLEAU 7 Résultat calorimétrie, halogènes et soufre.....	12
TABLEAU 8 Teneur en eau.....	13
TABLEAU 9 Perte au feu.....	13
TABLEAU 10 Teneur en formaldéhyde (laboratoire : Eurofins).....	13
TABLEAU 11 Résultats des analyses de teneur en sulfates (Eurofins)	14
TABLEAU 12 Résultats des analyses d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (Eurofins)...	14
TABLEAU 13 Teneurs en composés phénoliques (laboratoire : Eurofins)	15
TABLEAU 14 Teneurs en hydrocarbures pétroliers (Laboratoire : Eurofins).....	16
TABLEAU 15 Masse minimale des prises d'essai du gros granulat et du granulat fin.....	17
TABLEAU 16 Granulométrie (LC 21-040).....	17
TABLEAU 17 Caractéristiques intrinsèques et complémentaires d'un abrasif	18
TABLEAU 18 Analyses reçues par les centres de tri participants	18
TABLEAU 19 Effort pour les voies de mise en valeur des fines CRD (sans pondération).....	22
TABLEAU 20 Bénéfice pour les voies de mise en valeur des fines CRD (sans pondération) ...	23
TABLEAU 21 Classement Bénéfices / Efforts.....	25
TABLEAU 22 Fuseau granulométrique d'abrasifs de voirie (norme 14044)	26
TABLEAU 23 Caractéristiques intrinsèques et complémentaires d'un abrasif de voirie	26

FIGURES

FIGURE 1 Manipulations et analyses sur les échantillons (phase 1)	4
FIGURE 2 Répartition en % des matières dans les fines CRD $\geq 4,75$ mm.....	7
FIGURE 3 Répartition granulométrique des fines CRD	8
FIGURE 4 Graphique Efforts / Bénéfices (sans pondération)	24
FIGURE 5 Graphique Efforts / Bénéfices (avec pondération)	24

INTRODUCTION

Le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) et Chamard Stratégies environnementales ont répondu ensemble à un appel d'offres du 3R MCDQ sur la valorisation des résidus de criblage issus du secteur québécois de la construction, rénovation et démolition (CRD).

L'objectif du projet était de :

- Évaluer les volumes produits par le secteur CRD au Québec (volumes et caractéristiques).
- Dresser un portrait des modes actuels de disposition.
- Déterminer les limitations d'emploi des fractions fines de CRD.
- Évaluer les potentiels de valorisation et de réduction des volumes.
- Évaluer de nouvelles filières de disposition et/ou de valorisation.

Le CTTÉI s'est vu attribuer les tâches suivantes :

Phase1 Portrait de l'industrie des centres de tri de CRD au Québec

Tâche 1.1 Caractérisation des fines

Tâche 1.2 Filières de valorisation potentielles et données économiques

Tâche 1.3 Recommandations et rapport final de la Phase 1

Phase 2 Filières de valorisation

Tâche 2.1 Analyse détaillée des 3 filières de valorisation retenues

Tâche 2.2 Recommandations et rapport final

Toutes les informations recueillies par le CTTEI lors de ces deux phases se retrouvent dans ce rapport.

I. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES RÉSIDUS DE CRIBLAGE FIN

Afin de déterminer les voies de mise en valeur des résidus de criblage fin, une connaissance de leurs propriétés physicochimiques est nécessaire. Pour s'assurer d'avoir une caractérisation valable, les échantillons prélevés doivent être représentatifs du lieu de prélèvement. La section suivante présente la méthodologie utilisée pour l'échantillonnage.

I.1. MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Un échantillonnage rigoureux a été effectué par l'équipe de Chamard pour l'obtention de résultats représentatifs lors de la caractérisation générale des résidus de criblage fin. La méthodologie utilisée était la suivante :¹²

- **Pour un échantillonnage en milieu dynamique** (ex. : à la sortie d'un broyeur)
 - Prendre 30 pelletées d'environ 0,5 L à 1 L, en calculant un intervalle > 1 min entre chaque pelletée (ADEME³).
- **Pour un échantillonnage en milieu statique** (ex. : conteneur ou pile extérieure)
 - « Échantillonnage systématique en réalisant un maillage arbitraire de l'espace, puisqu'à précision recherchée égale il exige moins de prélèvements que l'échantillonnage stratifié au hasard et surtout que l'échantillonnage au hasard » (ADEME);
 - Enlever 60 cm de la surface;
 - Prendre un échantillon de 2 L;
 - Refaire cette étape 9 fois (10 prélèvements en tout).
- **Entreposage et transport**

Suite à l'échantillonnage, fermer hermétiquement le couvercle des chaudières. Conserver idéalement les échantillons à une température près de 4 °C (éviter surtout l'entreposage à la chaleur. Si l'échantillon est laissé à l'extérieur, le gel n'est pas critique puisqu'aucune analyse biologique n'est prévue dans la phase 1). Chamard a transmis les échantillons au CTTÉI à l'intérieur d'un délai de 72 h.

Pour les analyses physicochimiques courantes, les échantillons se conservent jusqu'à 180 jours. Toutefois, pour les analyses de la phase 2, certains paramètres exigent des échantillons plus frais (ex.: conservation maximale de 45 jours pour létalité chez les vers de terre, CEAEQ 2013⁴).

Tous les échantillons réceptionnés lors de la phase 1 ont été séchés afin d'éviter que l'eau ne les détériore et leur granulométrie a été mesurée. Par contre, seuls les échantillons qui ont été analysés furent broyés tels que décrits à la figure 1.

¹ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ 2008). Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 1 – Généralités, 58 p., 3 annexes, <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/generalitesC1.pdf>

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols, Québec, www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage.htm

³ ADEME, Analyse et caractérisation des déchets industriels. Angers : ADEME, Direction de l'industrie, 1997

⁴ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ 2013). Modes de conservation pour l'échantillonnage des sols. Édition courante, http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/dr09_02sols.pdf

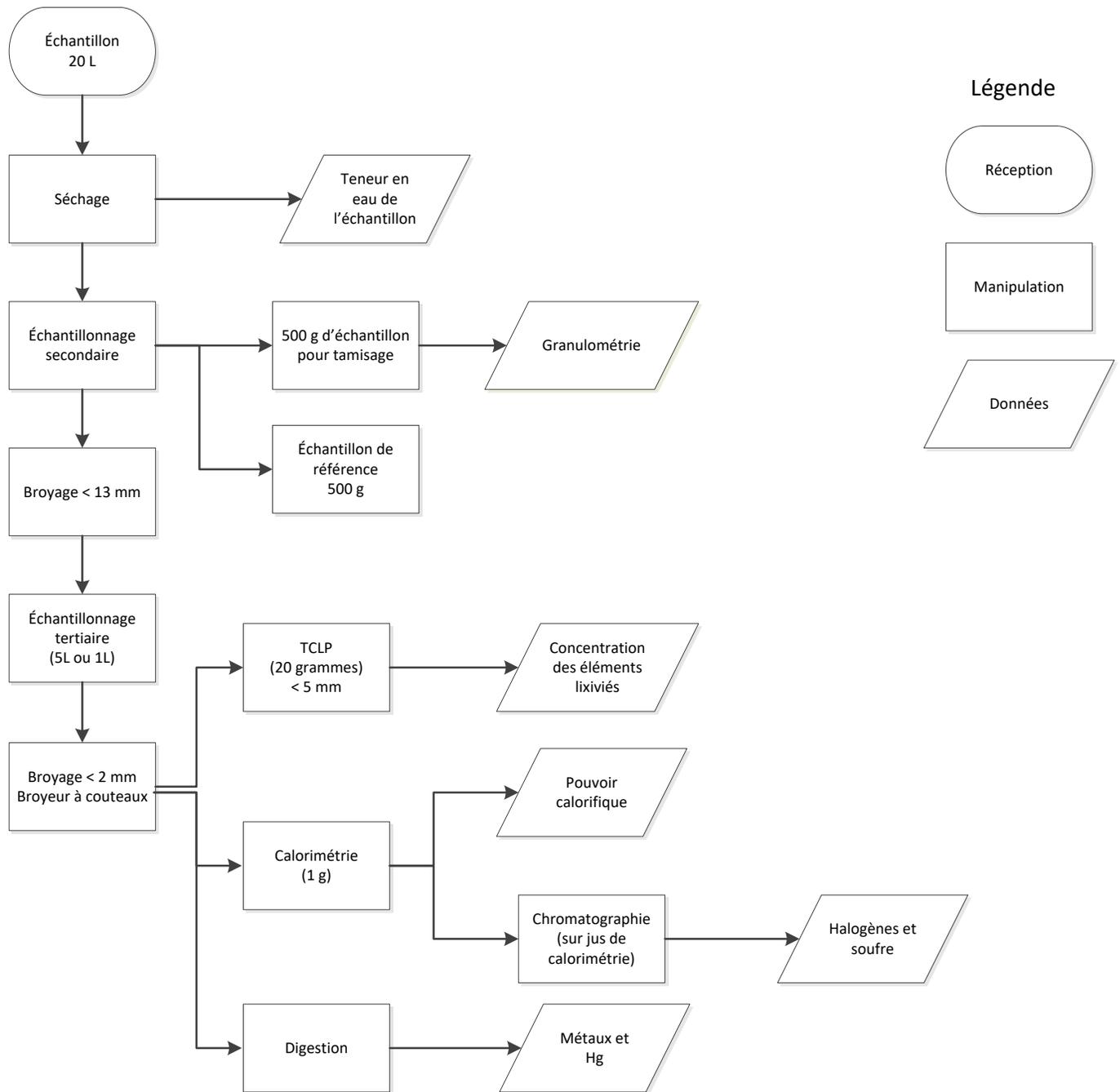


FIGURE I Manipulations et analyses sur les échantillons (phase I)

Les échantillons sont hétérogènes. Il est donc souhaitable de valider la reproductibilité des résultats en faisant les tests en triplicata. En contrepartie, cela diminue le nombre de sites pouvant être caractérisés avec le budget alloué, puisque le projet prévoit **9 spécimens à analyser (trois sites avec 3 échantillons par site)**. Chamard a sélectionné les trois sites à analyser selon des critères tels que :

- Quantité générée;
- Procédé de tri représentatif de l'industrie (ou meilleures et moins bonnes pratiques);

- Collaboration du générateur;
- Etc.

La sélection inclut le site où 3 échantillons ont été prélevés aux fins de contrôle. Les échantillons sélectionnés sont ceux des sites # 1, 6 et 8.

La durée de conservation de ces échantillons est d'un maximum de 180 jours selon le CEAEQ (CEAEQ – DR-09-02). Puisque le délai du projet s'est échelonné sur une période grandement plus longue entre la réalisation des phases 1 et 2, une seconde ronde d'échantillonnage a eu lieu. Cette fois, les échantillons n'ont pas été séchés sur réception puisque les analyses requises en phase 2 doivent être effectuées sur les échantillons tels quels.

TABLEAU I Dates d'échantillonnage

Échantillon	Date échantillonnage	
	Phase 1	Phase 2
1	23 octobre 2015	11 novembre 2016
2	23 octobre 2015	
3	23 octobre 2015	
4	23 octobre 2015	
5	27 octobre 2015	14 novembre 2016
6	10 novembre 2015	14 novembre 2016
7	11 novembre 2015	15 novembre 2016
8	12 novembre 2015	
9	30 novembre 2015	
10	30 novembre 2015	

Analyses effectuées sur les échantillons de la phase 1 :

- Granulométrie
- Analyse élémentaire (digestion acide + ICP)
- Lixiviation TCLP
- Calorimétrie, halogènes et soufre
- Teneur en eau & Perte au feu

Analyses effectuées sur les échantillons de la phase 2 :

- Caractérisation visuelle
- Composés phénoliques
- Formaldéhyde
- HAP
- Hydrocarbures pétroliers C10-C50
- Teneur en sulfates solubles à l'eau
- Dureté
- Granulométrie LC 21-040
- Résistance à l'usure Micro-Deval

Les prochaines sections présentent les résultats des analyses effectuées sur les échantillons prélevés.

I.2. COMPOSITION DES RÉSIDUS DE CRIBLAGE FIN

La caractérisation visuelle a été effectuée sur la fraction granulométrique supérieure ou égale à 4,75 mm. Puisque certaines matières contenues dans les fines ont tendance à se désagréger (tels que le gypse et le bardeau), le résultat obtenu sur la portion $\geq 4,75$ mm ne peut pas s'extrapoler sur la fraction $< 4,75$ mm. Les résultats se retrouvent dans le tableau 1 suivant. En moyenne, la catégorie Béton et brique se retrouve en proportion plus importante, suivie de la catégorie Roche, sol, terre. L'échantillon 1 contient plus de papier et carton que les autres échantillons. L'échantillon 5 est celui qui contient le moins de bardeau et le plus de gypse. Cela va à l'encontre de ce qu'on pourrait penser puisque ce centre retire le gypse en pré-tri. Une hypothèse pouvant expliquer cette observation est que le gypse provient de travaux de déconstruction et s'est fragmenté lors de la manutention. Les travailleurs ne peuvent pas enlever efficacement ces petits fragments. Il semble donc que pour limiter la teneur en gypse un tri à la source soit plus efficace qu'au centre de tri. L'échantillon 6 est celui qui contient le plus de bardeaux et de plastiques. Quant à l'échantillon 7, il contient davantage de céramique et porcelaine que les autres et moins de bois. Ces observations témoignent de la grande hétérogénéité des échantillons prélevés. Il faut prendre en considération que les résidus de criblage ne proviennent pas d'un approvisionnement homogène, donc la moyenne des quatre échantillons pourrait être une meilleure indication sur la teneur des matières triées dans les matières fines.

TABLEAU 2 Résumé de la caractérisation visuelle sur les quatre échantillons (phase2)

Matières	Pourcentage massique (%)				
	Échantillon 1	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Moyenne
Bardeau	9,2	4,4	10,6	8,7	8,2
Bois	6,8	7,4	11,4	4,2	7,5
Béton et brique	18,2	15,4	24,2	23,4	20,3
Céramique et porcelaine	4,4	15,0	1,8	15,7	9,2
Autres	2,0	0,9	1,0	0,5	1,1
Gypse	7,4	21,0	14,6	6,7	12,4
Laine minérale	0,0	0,6	0,4	0,1	0,3
Métal	0,3	0,8	0,3	3,5	1,3
Papier et carton	17,7	3,8	8,0	2,3	8,0
Plastiques	2,6	1,8	5,8	0,3	2,6
Roche, sol, terre	22,6	19,6	7,6	23,2	18,2
Matières organiques	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1
Verre	8,9	9,3	2,1	11,1	7,8
« Fines entraînées »	0,0	0,0	12,0	0,0	3,0
Total des matières dans la fraction $\geq 4,75$ mm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
% $\geq 4,75$ mm de l'échantillon pour la granulométrie	9,7	31,0	35,1	35,2	27,7
% $< 4,75$ mm de l'échantillon pour la granulométrie	90,3	69,0	64,9	64,8	72,3
Total des deux fractions	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pour faciliter la lecture du tableau 1, les teneurs minimale et maximale ont été mises en relief en utilisant la légende suivante :

Minimum
Maximum

Les photos prises lors de la caractérisation visuelle se retrouvent à l'annexe 1. La figure 2 suivante permet de visualiser la proportion massique moyenne de chaque type de matière dans la fraction plus grande ou égale à 4,75 mm des fines CRD. Il s'agit d'une représentation visuelle agrégée des informations du tableau 1.

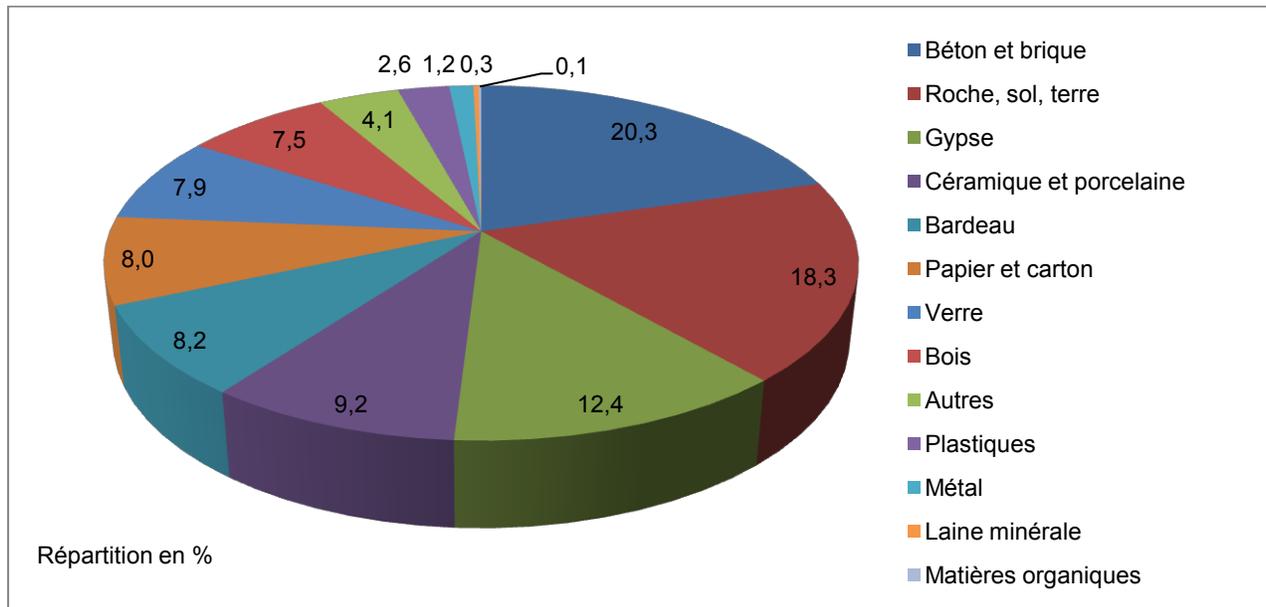


FIGURE 2 Répartition en % des matières dans les fines CRD $\geq 4,75$ mm

I.3. GRANULOMÉTRIE (PHASE I)

L'analyse granulométrique des échantillons de fines de CRD permet de constater la diversité de la taille des fines CRD, comme présentée à la figure 3. Les échantillons 5 et 7 semblent contenir une proportion plus élevée de matières fines et le 9 plus de particules grossières. L'échantillon 10 est un cas particulier, puisqu'il est bimodal avec une concentration de particules à 2,5 cm (1 pouce) et de particules fines (<500 microns (0,02 pouce)).

En moyenne, 92,3 % de la matière est de granulométrie inférieure à $\frac{3}{4}$ de pouce. Pour les échantillons 5, 6 et 8 cette proportion est de 100 % puisqu'ils ne contiennent aucun fragment supérieur à $\frac{3}{4}$ de pouce.

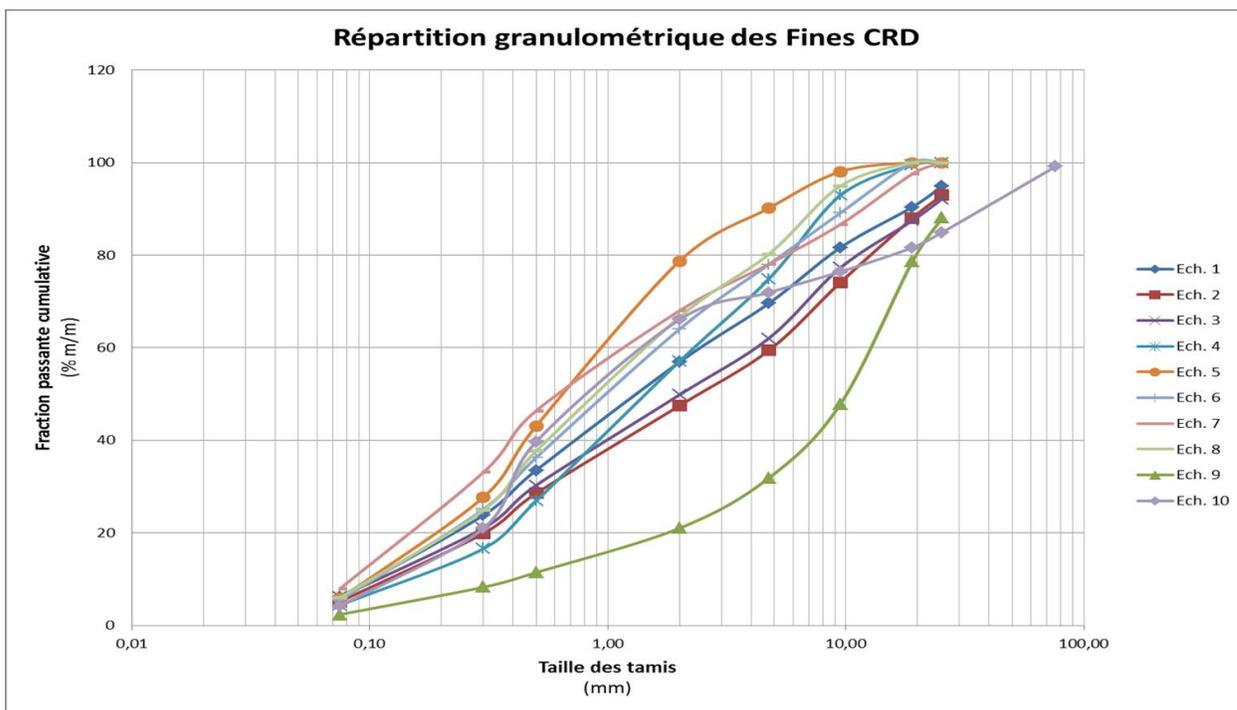


FIGURE 3 Répartition granulométrique des fines CRD

TABLEAU 3 Granulométrie détaillée

		% Retenu											
		Échantillon											
Tamis (po)	Tamis (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne	Écart type
3	76,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1	0,3
1	25,4	5,1	7,0	7,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	14,2	4,6	5,5
0,75	19,05	4,5	5,0	4,7	0,4	0,0	0,0	2,4	0,0	9,4	3,3	3,0	3,1
0,374	9,5	8,7	13,8	10,2	6,6	1,9	10,9	10,9	5,0	30,8	5,2	10,4	8,0
0,187	4,75	12,1	14,7	15,3	18,1	7,9	11,1	8,6	14,7	16,0	4,5	12,3	4,2
0,079	2	12,7	11,9	12,2	17,8	11,4	14,0	10,1	13,6	10,8	5,8	12,0	3,1
0,020	0,5	23,4	18,9	19,5	30,2	35,6	27,7	21,6	28,9	9,6	26,4	24,2	7,3
0,012	0,3	9,7	8,7	9,2	10,3	15,4	11,2	13,3	12,8	3,2	18,7	11,2	4,2
0,003	0,075	17,6	14,7	14,9	12,2	21,9	19,7	25,1	18,9	5,9	16,8	16,8	5,3
Pan	Pan	6,2	5,2	6,1	4,4	5,8	5,4	8,0	6,0	2,4	4,2	5,4	1,5
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

TABLEAU 4 Pourcentage passant

% Passant													
Tamis (Pouce)	Tamis (mm)	Échantillon											Écart type
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	moyenne	
3	76,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,2	99,8	0,4
1	25,4	94,9	93,0	92,2	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	88,1	84,9	95,3	5,6
0,75	19,05	90,4	88,0	87,5	99,5	100,0	100,0	97,6	100,0	78,7	81,6	92,3	8,2
0,374	9,5	81,7	74,1	77,3	92,9	98,1	89,1	86,7	95,0	47,8	76,4	81,9	14,5
0,187	4,75	69,6	59,4	62,0	74,9	90,2	78,0	78,1	80,2	31,9	71,9	69,6	16,0
0,079	2	56,9	47,5	49,8	57,1	78,7	64,0	68,0	66,6	21,0	66,1	57,6	15,8
0,020	0,5	33,5	28,6	30,3	26,9	43,1	36,3	46,4	37,7	11,5	39,7	33,4	9,9
0,012	0,3	23,8	19,9	21,1	16,6	27,7	25,1	33,1	24,9	8,3	21,0	22,2	6,7
0,003	0,075	6,2	5,2	6,1	4,4	5,8	5,4	8,0	6,0	2,4	4,2	5,4	1,5

1.4. ANALYSES CHIMIQUES

Pour bien connaître la composition de la fraction fine, des analyses chimiques sont nécessaires.

1.4.1. ANALYSE ÉLÉMENTAIRE (DIGESTION ACIDE + ICP) PHASE I

L'analyse des teneurs en métaux par digestion acide a permis une comparaison des échantillons en fonction du critère des sols et des spécifications pour les matières résiduelles fertilisantes (MRF). On constate qu'en général, le critère B des sols contaminés et le critère C2 des MRF sont respectés. Quelques dépassements sont toutefois observés pour certains échantillons, témoignant de nouveau des disparités entre les sites échantillonnés :

- Le Cu excède tous les critères dans l'échantillon 1.
- Le Mn excède le critère des sols pour l'échantillon 8.
- Le Pb des échantillons 1 et 8 rencontre le critère A-B des sols.
- Le Zn de l'échantillon 8 excède le critère B des sols.

TABLEAU 5 Analyse élémentaire (digestion acide + ICP)^{5 6}

Analyse	Unité base sèche	Labo	Échantillon 1			Échantillon 6			Échantillon 8			Moyenne totale	Écart type	CRITÈRE ⁷ SOLS A	CRITÈRE SOLS B	CRITÈRE SOLS C	MRF ⁸ C1	MRF C2
			1-1	1-2	1-3	6-1	6-2	6-3	8-1	8-2	8-3							
Aluminium	mg/kg	SGS	6800	6300	5800	5000	5300	4800	5600	5700	5800	5678	618,0					
Arsenic	mg/kg	SGS	6,8	3,2	4,1	8,8	5,0	5,2	28	25	19	12	9,7	6	30	50	13	41
Baryum	mg/kg	SGS	89	63	80	74	72	70	140	120	130	93	29,0	200	500	2000		
Bore	mg/kg	SGS	92	78	74	370	420	390	39	38	35	171	168,6					
Cadmium	mg/kg	SGS	0,9	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,9	0,8	0,4	0,5	0,3	1,5	5	20	3	10
Calcium	mg/kg	SGS	110000	120000	110000	130000	130000	130000	110000	110000	110000	117778	9718,3					
Chrome	mg/kg	SGS	50	39	39	44	41	41	49	46	41	43	4,2	85	250	800	210	1000
Cuivre	mg/kg	SGS	10000	1800	1200	46	40	32	320	330	290	1562	3221,4	40	100	500	400	1000
Fer	mg/kg	SGS	9300	9000	9000	7800	7000	8000	23000	25000	22000	13344	7563,6					
Magnésium	mg/kg	SGS	9300	9000	9000	17000	14000	14000	11000	11000	10000	11589	2801,1					
Manganèse	mg/kg	SGS	250	240	210	260	240	220	2100	1200	1700	713	749,8	770	1000	2200		
Mercure	mg/kg	SGS	0,2	0,22	0,15	0,37	0,23	0,32	0,34	0,39	0,30	0,3	0,1	0,2	2	10	0,8	4
Nickel	mg/kg	SGS	26	20	21	18	17	16	43	40	39	27	10,9	50	100	500	62	180
Phosphore	mg/kg	SGS	540	420	400	310	320	290	450	470	450	406	83,8					
Plomb	mg/kg	SGS	410	220	360	77	85	79	200	200	170	200	119,4	50	500	1000	120	300
Potassium	mg/kg	SGS	1300	1200	1300	2000	2000	2000	1600	1600	1500	1611	321,9					
Sélénium	mg/kg	SGS	1,4	1,0	1,0	1,3	1,2	1,8	1,8	2,5	3,7	1,7	0,9	1	3	10	2	14
Silicium	mg/kg	SGS	3200	2100	2300	2300	1800	1500	5100	5400	4700	3156	1515,0					
Sodium	mg/kg	SGS	1700	1700	1600	1100	1200	1100	1300	1400	1500	1400	239,8					
Titane	mg/kg	SGS	250	220	220	330	320	310	470	360	460	327	92,5					
Uranium	mg/kg	SGS	0,88	0,42	0,56	0,43	0,37	0,33	0,85	0,80	0,72	0,6	0,2					
Zinc	mg/kg	SGS	470	400	360	180	150	140	610	600	560	386	191,3	110	500	1500	700	1850

⁵ L'analyse a été faite en triplicate sur les échantillons 1, 6 et 8.

⁶ Les données en rouge sont celles qui ne respectent pas une ou plusieurs normes.

⁷ MDDELCC. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Tableau 1 : Grille des critères génériques pour les sols. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm.

⁸ Guide sur le Recyclage des matières résiduelles fertilisantes (MRF) : Critères de référence et normes réglementaires. Édition 2015. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf.

I.4.2. LIXIVIATION (TCLP – TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE) (PHASE I)

Une analyse des métaux soumis à une lixiviation permet de statuer sur le caractère dangereux des échantillons prélevés. Les données présentées au Tableau 5 démontrent que les éléments analysés sont largement inférieurs aux seuils spécifiés par le Règlement sur les matières dangereuses⁹. Par contre, le bore, les cyanures totaux, les fluorures totaux, le mercure, les nitrates + nitrites et les nitrites n'ont pas été évalués en phase 1. L'objectif à ce stade était surtout exploratoire.

TABLEAU 6 Résultats de lixiviation TCLP¹⁰

Élément	Arsenic	Baryum	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Nickel	Plomb	Sélénium	Uranium	Zinc
Unité	mg/L										
Labo	CTTEI SGS										
Échantillon 1 Essai 1	0,0007	0,31	0,0058	0,0101	0,454	0,284	0,0834	0,108	0,0017	0,0041	8,01
Échantillon 1 Essai 2	0,0007	0,313	0,0053	0,0103	0,449	0,275	0,0864	0,115	0,0016	0,004	8,99
Échantillon 1 Essai 3	0,0006	0,32	0,0055	0,0093	0,387	0,271	0,0871	0,151	0,0016	0,0042	7,31
Échantillon 6 Essai 1	0,0026	0,344	0,0025	0,0336	0,0117	6,51	0,0604	0,212	0,0016	0,0023	1,75
Échantillon 6 Essai 2	0,0031	0,369	0,0027	0,0288	0,0119	3,3	0,0513	0,287	0,0018	0,0023	1,84
Échantillon 6 Essai 3	0,0039	0,359	0,0026	0,0295	0,0129	2,68	0,0579	0,16	0,002	0,0024	1,7
Échantillon 8 Essai 1	0,0022	0,347	0,005	0,0084	0,0546	0,63	0,158	0,0686	0,0083	0,0046	2,83
Échantillon 8 Essai 2	0,002	0,33	0,0042	0,0077	0,0512	0,802	0,162	0,0695	0,0078	0,0044	2,23
Échantillon 8 Essai 3	0,0021	0,335	0,0046	0,0078	0,0527	0,646	0,146	0,196	0,0078	0,0044	2,48
Moyenne totale	0,002	0,3363	0,0042	0,0162	0,165	1,7109	0,0992	0,1519	0,0038	0,0036	4,1267
Écart type	0,001	0,0206	0,0017	0,0141	0,2439	3,499	0,051	0,0741	0,0038	0,0012	3,3463
Norme ¹¹	5	100	500	5	N/A	N/A	N/A	5	5	2	N/A

I.4.3. CALORIMÉTRIE, HALOGÈNES ET SOUFRE (PHASE I)

La valeur calorifique des fines de débris de CRD est très faible avec une moyenne d'environ 3 000 kJ/kg. Les cimenteries visent habituellement un pouvoir calorifique avoisinant 13 000 kJ/kg.

La teneur en halogènes (Cl, Br, S) est aussi un paramètre important lors de la mise en valeur en cimenterie. Les limites varient selon les cimenteries et selon la valeur ajoutée des matières.

- Le tableau 6 démontre que l'échantillon 8 est celui qui contient le moins de chlorures (moyenne de 519 mg/kg), alors que l'échantillon 1 est celui en contenant le plus (moyenne de 1 339 mg/kg).
- La concentration en bromure est inférieure à la limite de détection de 50 mg/kg pour tous les échantillons.

⁹ Concentrations maximales d'un contaminant dans une matière liquide ou dans le lixiviat d'une matière solide.

¹⁰ L'analyse a été faite en triplicata sur les échantillons 1, 6 et 8.

¹¹ Règlement sur les matières dangereuses. Concentrations maximales d'un contaminant dans une matière liquide ou dans le lixiviat d'une matière solide. http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R32.HTM.

- Pour ce qui est du soufre, il est largement supérieur aux normes pour le critère de sol, mais il pourrait être possible de faire un test de génération d'acide pour valider certaines voies.

TABLEAU 7 Résultat calorimétrie, halogènes et soufre¹²

Analyse Base sèche	Pouvoir calorifique Supérieur	Chlorures	Bromures	Soufre total
Unité	kJ/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Labo	CTTÉI	CTTÉI	CTTÉI	CTTÉI
Échantillon 1 Essai 1	3601,3	1297,3	< 50	332022
Échantillon 1 Essai 2	4126	1099	< 50	41349
Échantillon 1 Essai 3	3821,94	1619,22	< 50	42774
Échantillon 1 Moyenne	3850	1339	< 50	39108
Échantillon 6 Essai 1	2502	1286	< 50	54248
Échantillon 6 Essai 2	3155	740	< 50	57021
Échantillon 6 Essai 3	1007	985	< 50	62174
Échantillon 6 Moyenne	2222	1004	< 50	57814
Échantillon 8 Essai 1	1626,5	370,56	< 50	24376
Échantillon 8 Essai 2	1860,09	542,913	< 50	28793
Échantillon 8 Essai 3	1972,06	644,065	< 50	31149
Échantillon 8 Moyenne	2630	519,2	< 50	28106
Moyenne totale	2630,3	984,62	< 50	37275,2
Écart type	1093,1	531,8	-	15347

I.4.4. TENEUR EN EAU & PERTE AU FEU

La teneur en eau est très variable d'un échantillon à l'autre puisque les fines de débris de CRD sont entreposées à l'extérieur comme en témoigne le tableau 8.

Quant à la perte au feu (tableau 9), celle-ci est évaluée en mesurant la perte de masse subie par un échantillon lorsque soumis à un chauffage à 550 °C. La moyenne observée est de 3,72 %, ce qui implique que les fines de débris de CRD sont composées d'environ 96 % de matière inorganique.

¹² L'analyse a été faite en triplicata sur les échantillons 1, 6 et 8.

TABLEAU 8 Teneur en eau

Analyse	Labo	Échantillon										Moyenne	Écart type
		1	6	8	2	3	4	5	7	9	10		
Teneur en eau % m/m base humide	CTTÉI	10,25	18,996	12,95	11,464	12,69	12,06	14,8	31,715	8,076	25,3	16,12	7,105499

TABLEAU 9 Perte au feu

Analyse	Unité (base sèche)	Labo	Échantillon 1		Échantillon 6		Échantillon 8		moyenne	Écart type
			Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2		
Perte au feu	% m/m	CTTÉI	5,555	4,646	3,469	4,119	2,171	2,355	3,72	1,320

1.4.5. FORMALDÉHYDE SUR LA FRACTION $\geq 4,75$ MM (PHASE 2)

Le formaldéhyde est utilisé, entre autres, pour la fabrication de produits en bois aggloméré tels que les panneaux particules et contreplaqués (Santé Canada). La fraction plus grossière étant celle contenant le plus de bois, c'est sur cette fraction que les analyses ont été réalisées. Un broyage cryogénique préalable a été requis. Les résultats présentés au tableau 10 démontrent que les quatre échantillons respectent le critère B pour le formaldéhyde; ils se situent donc dans la plage A-B.

TABLEAU 10 Teneur en formaldéhyde (laboratoire : Eurofins)

Matières	Mg/kg				Moyenne
	Échantillon 1	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	
Formaldéhyde	10	3	3	7	6
CRITÈRES DES SOLS mg/kg de matière sèche (ppm) ¹³					
A	1				
B	100				
C	125				

1.4.6. TENEUR EN SULFATES SOLUBLES À L'EAU SUR LA FRACTION $< 4,75$ MM (PHASE 2)

Le gypse des panneaux de placoplâtre ayant tendance à s'effriter lors des manipulations, les sulfates sont susceptibles d'être présents en plus grande concentration dans la fraction fine. Il a donc été décidé de faire l'analyse des sulfates solubles sur la fraction inférieure à 4,75 mm. Certains sulfates peuvent provenir du béton également.

Le sulfate de sodium étant peu soluble à l'eau, on s'attend à ce que cette teneur soit inférieure à la teneur en sulfate totale. Le tableau 7 présenté précédemment indique que la teneur en soufre totale moyenne

¹³ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

est de 37 275 ppm. Si on transpose cette valeur en sulfate (SO₄) on a 111 825 ppm, la teneur en sulfate soluble à l'eau correspond donc à environ 14 % de la teneur totale.

TABLEAU 11 Résultats des analyses de teneur en sulfates (Eurofins)

Matières	Mg/kg				Moyenne
	Échantillon 1	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	
Sulfates solubles à l'eau	16 000	14 400	18 400	13 400	15 550
CRITÈRES DE SOL mg/kg de matière sèche (ppm) Soufre total (S)					
A	400 (ou 1 200 exprimé en sulfate)				
B	1 000 (ou 3 000 exprimé en sulfate)				
C	2 000 (ou 6 000 exprimé en sulfate)				

« Lorsque le critère pour le soufre dans les sols est excédé, il est approprié de réaliser un test de potentiel de génération d'acide afin de décider de la gestion des sols. Consultez la direction régionale du ministère de l'Environnement à ce sujet. »
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

1.4.7. HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES < 4,75 MM (PHASE 2)

La fraction fine est davantage susceptible de contenir des HAP puisqu'on en retrouve dans les enrobés bitumineux et les bardeaux d'asphalte qui se fragmentent. Le comité du projet a donc décidé d'effectuer les analyses sur la fraction inférieure à 4,75 mm. Selon les résultats présentés au tableau 11, les échantillons 1 et 7 se situent au-delà du critère C des sols dû à la sommation benzo et fluoranthène. L'échantillon 5 rencontre quant à lui le critère B alors que l'échantillon 6 se retrouve dans la plage B-C.

TABLEAU 12 Résultats des analyses d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (Eurofins)

Composé	Unité	LDR ¹⁵	Échantillon				Critères de sols ¹⁴		
			1	5	6	7	A	B	C
1,3-Diméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1,2	<0,7	<0,9	0,6	0,1	1	10
1-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1,4	<0,7	<0,9	0,8	0,1	1	10
2,3,5-Triméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
2-Chloronaphtalène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	NA	NA	NA
2-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	2,3	<0,7	<0,9	1,3	0,1	1	10
3-Méthylcholantrène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
7,12-Diméthylbenzo (a) anthracène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
Acénaphène	mg/kg	0,1	3,8	<0,7	<0,9	3,0	0,1	10	100
Acénaphylène	mg/kg	0,1	1,2	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	10	100
Anthracène	mg/kg	0,1	10,7	<0,7	2,6	4,9	0,1	10	100
Benzo (a) anthracène	mg/kg	0,1	14,4	<0,7	4,8	7,8	0,1	1	10
Benzo (a) pyrène	mg/kg	0,1	9,4	<0,7	3,7	6,3	0,1	1	10
Benzo (b) fluoranthène	mg/kg	0,1	7,6	<0,7	3,1	5,6	0,1	1	10
Benzo (c) phénanthrène	mg/kg	0,1	2,1	<0,7	<0,9	1,1	0,1	1	10
Benzo (e) pyrène	mg/kg	0,1	6,0	<0,7	2,4	4,1	0,1	1	10
Benzo (g,h,i) pérylène	mg/kg	0,1	5,4	<0,7	2,1	3,7	0,1	1	10
Benzo (j) fluoranthène	mg/kg	0,1	4,7	<0,7	2,0	3,3	0,1	1	10

¹⁴ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

¹⁵ LDR Limite de détection reportée

Composé	Unité	LDR ¹⁷	Échantillon				Critères de sols ¹⁶		
			1	5	6	7	A	B	C
Benzo (k) fluoranthène	mg/kg	0,1	4,8	<0,7	2,0	3,7	0,1	1	10
Chrysène	mg/kg	0,1	12,6	0,7	4,3	7,9	0,1	1	10
Dibenzo (a,h) anthracène	mg/kg	0,1	1,4	<0,7	<0,9	1,1	0,1	1	10
Dibenzo (a,h) pyrène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
Dibenzo (a,i) pyrène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
Dibenzo (a,l) pyrène	mg/kg	0,1	<0,7	<0,7	<0,9	<0,6	0,1	1	10
Fluoranthène	mg/kg	0,1	36,7	2,4	12,4	22,5	0,1	10	100
Fluorène	mg/kg	0,1	5,1	<0,7	2,0	3,6	0,1	10	100
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	mg/kg	0,1	4,6	<0,7	2,5	4,6	0,1	1	10
Naphtalène	mg/kg	0,1	4,7	0,9	<0,9	3,6	0,1	5	50
Phénanthrène	mg/kg	0,1	37,7	3,0	13,8	25,5	0,1	5	50
Pyrène	mg/kg	0,1	26,1	1,5	8,6	15,8	0,1	10	100
Sommation benzo (b, j et k) fluoranthène	mg/kg	0,1	17,1	<ND>	7,0	12,7	0,1	1	10
Sommation des HAP	mg/kg	0,1	204	8,5	66,3	131	NA	NA	NA

1.4.8. COMPOSÉS PHÉNOLIQUES < 4,75 MM

Cette analyse n'a pu permettre de déterminer si les échantillons respectaient les critères des sols; la présence d'interférence dans la matrice a grandement augmenté la limite de détection. En effet, l'extraction des échantillons de fines a résulté en un liquide foncé difficile à analyser tel quel. Le laboratoire a dû procéder à une dilution pour éclaircir le liquide ce qui explique l'augmentation considérable de la limite de détection. Pour le 2,4-dinitrophénol, la LDR (limite de détection reportée) était de 10 mg/kg avant l'augmentation de la limite alors que le critère C est de 5 mg/kg. Les autres limites de détection sont supérieures aux critères A.

Une analyse des composés phénoliques par colorimétrie pourrait être faite ultérieurement pour pallier à cet inconvénient, mais les résultats seraient alors connus pour les composés phénoliques totaux seulement et non individuellement. La LDR est de 0,1 mg/kg pour ce test et il y a généralement moins d'interférence possible.

Si on fait abstraction au 2,4-dinitrophénol, tous les échantillons sont a priori dans la plage B-C, mais aucune conclusion ne peut être fait sur le critère A, puisque la LDR y est supérieure.

TABLEAU 13 Teneurs en composés phénoliques (laboratoire : Eurofins)

Composé	Unité	LDR ¹⁹	Échantillons				Critères des sols ¹⁸		
			1	5	6	7	A	B	C
2-Chlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
Phénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	1	10
o-Crésol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	1	10
m-Crésol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	1	10
p-Crésol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	1	10
2-nitrophénol	mg/kg	0,5	<7	<7	<9	<7	0,5	1	10
2,4-diméthylphénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	1	10

¹⁶ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

¹⁷ LDR Limite de détection reportée

¹⁸ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

¹⁹ Phénol : limite de détection augmentée, car interférence de matrice.

Composé	Unité	LDR ²¹	Échantillons				Critères des sols ²⁰		
			1	5	6	7	A	B	C
2,4-dinitrophénol	mg/kg	10	<200	<200	<200	<200	0,1	0,5	5
4-nitrophénol	mg/kg	0,5	<7	<7	<9	<7	0,5	1	10
2-méthyl-4,6-dinitrophénol	mg/kg	10	<200	<200	<200	<200	NA ²²	NA	NA
3-Chlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
4-Chlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3-Dichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,4-dichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
(2,5 + 2,6)-Dichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
3,4-Dichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
3,5-dichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,4-Trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,5-Trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,6-Trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,4,5-Trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,4,6-trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
3,4,5-Trichlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,4,5-Tétrachlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,4,6-Tétrachlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
2,3,5,6-Tétrachlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5
Pentachlorophénol	mg/kg	0,1	<2	<2	<2	<2	0,1	0,5	5

1.4.9. HYDROCARBURES PÉTROLIERS SUR LA FRACTION < 4,75 MM

La fraction inférieure à 4,75 mm contenant les bardeaux et enrobés bitumineux a été ciblée par le comité du projet pour l'analyse des hydrocarbures pétroliers. Les données présentées au tableau 14 indiquent que les échantillons 6 et 7 respectent la limite du critère « C », alors que les échantillons 1 et 5 le dépassent largement.

TABLEAU 14 Teneurs en hydrocarbures pétroliers (Laboratoire : Eurofins)

Matières	Mg/kg				
	Échantillon 1	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Moyenne
Hydrocarbures pétroliers C10-C50	9 470	5 900	3 320	3 110	5 450
CRITÈRES DE SOL mg/kg de matière sèche (ppm) ²³					
A	300				
B	700				
C	3 500				

1.4.10. LC-21-040, LC 21-101 ET LC-21-400

Les Tests LC-21-040, LC 21-101 ET LC-21-400 ont été effectués par Englobe. La quantité d'échantillons fournis était insuffisante pour être pleinement représentative et satisfaire la norme LC-040, mais permet

²⁰ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

²¹ Phénol : limite de détection augmentée, car interférence de matrice.

²² NA : Non applicable, n'est pas dans les critères.

²³ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

néanmoins d'avoir une bonne idée de la granulométrie. Les échantillons ont été transmis tels quels, sans tamisage ni séchage. Le tableau 15 indique les masses minimales requises pour la représentativité d'un essai en fonction de la dimension des granulats selon la norme du ministère des Transports du Québec (MTQ).

TABLEAU 15 Masse minimale des prises d'essai du gros granulat et du granulat fin

Dimension nominale maximale des granulats (mm)	Masse minimale de la prise d'essai	
	2,5 ⁽¹⁾	Granulat fin
5	500 g	
10	Gros granulat	1 kg
14		3 kg
20		5 kg
31,5		10 kg
40		15 kg
56		20 kg
80		60 kg
112		90 kg

1. Lorsque 95 % et plus des particules du matériau passent le tamis de 2,5 mm, la masse minimale de la prise d'essai peut être réduite à 100 g.

Source : LC 21-040 –Transports Québec

L'analyse détaillée des résultats du tableau 16 est présentée plus loin lors de l'étude des pistes de mise en valeur explorées. On constate toutefois que les échantillons ne respectent pas les critères d'un AB-5, mais qu'ils sont près d'un AB-10.

TABLEAU 16 Granulométrie (LC 21-040)

Tamis (mm)	AB-5 (% Passant)	AB-10 (% Passant)	Échantillons			
			1	5	6	7
40				100		
31,5				95	100	100
20			100	92	96	92
14			99	87	91	82
10		100	98	80	86	74
8	100					
5	85-99	95-100	91	60	77	58
2,5	1-15		75	47	69	49
1,25	0-5	0-70	57	38	57	42
0,630		0-50	40	30	41	35
0,315		0-35	24	21	27	25
0,160		0-15	13	12	16	15
0,080		0-5	6,8	6,0	8,9	8,6
Los Angeles (%) (LC 21-400)			75,6	35,4	41,9	24,8
Micro-Deval (%) (LC 21-101)			59,2	49,9	42,6	41,7
% < à 4,75 mm de l'échantillon pour la granulométrie			90,3	69,0	64,9	64,8

L'essai Micro-Deval permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat par attrition. Un pourcentage bas correspond à un échantillon résistant à l'usure. Selon les critères du tableau 17, on constate qu'aucun échantillon ne répond tel quel aux normes du ministère des Transports.

TABLEAU 17 Caractéristiques intrinsèques et complémentaires d'un abrasif

Granulats fins	Méthode d'essai	Exigences
Caractéristiques intrinsèques		Micro-Deval (MD) ≤ 35
Caractéristiques complémentaires : - teneur en eau (%)	LC 21-201	≤ 5

Source : Ouvrages Routiers. Cahier des charges et devis généraux. Déneigement et déglçage.
<http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=9&file=ccd-g-dd16.pdf>

1.4.1.1. DURETÉ ≥ 4,75 MM

Elle n'a pu être effectuée par Englobe dû à la trop grande hétérogénéité des échantillons.

1.5. ANALYSES REÇUES DES CENTRES DE TRI LORS DES VISITES

Certains centres de tri ont accepté de transmettre les résultats des analyses réalisées sur leurs particules fines. Voici le type d'analyses reçues par centre de tri (codifié de A à F) :

TABLEAU 18 Analyses reçues par les centres de tri participants

Types d'analyse	Centres de tri					
	A	B	C	D	E	F
Granulométrie	15 sur 7ans	2	2	1	1	
Test pour recouvrement LET	15 sur 7 ans	2	1	1	1	
ASTM D2434 (essai perméabilité charge constante)			1			
Composition élémentaire (métaux)	1					1
Composition en organiques (incluant produits pétroliers)	1					1
Test de compostage	1					

Les analyses ont été remises à Chamard de façon confidentielle. Elles se retrouvent pour la plupart en annexe avec la codification A à F en référence au centre de tri d'origine. Il a pu être constaté que pour les paramètres testés en phase 1 et les résultats obtenus par les centres de tri, il n'y a **pas de disparité significative**. La quantité de fines inférieure à ¾ pouce est de 91,5 % en moyenne pour les données reçues par les centres de tri contre 92,3 % pour les résultats de la phase 1. Par contre, la grosseur du tamis est très légèrement différente avec 20 mm (centres de tri) contre 19,05 mm (phase 1).

Il peut y avoir également de grandes disparités pour un même centre. Par exemple, le centre de tri A obtient une valeur aussi basse que 61,5 % passant au ¾ de pouce (20 mm) alors que la majorité des autres résultats du même centre de tri pour la même taille de tamis sont près de 100 % passant. Cela

semble confirmer que la taille des fines est variable pour un même centre. De plus, il ne faut pas oublier que le tamisage se fait en deux dimensions alors que les particules sont en 3 dimensions; un morceau d'une longueur de plus de $\frac{3}{4}$ de pouce, mais d'un diamètre inférieur à $\frac{3}{4}$ de pouce, peut soit passer dans le tamis ou non selon son orientation.

Les mêmes éléments (cuivre, plomb, le soufre, le zinc) identifiés dans la phase 1 sont aussi supérieurs à certaines normes pour les centres de tri A et F. Dans la phase 1, le manganèse a aussi été identifié, mais n'est pas problématique pour le centre F et n'a pas été analysé pour le centre A. De plus, l'arsenic, le cadmium, le mercure et l'étain sont supérieurs selon des normes pour les centres A ou F. La teneur en organiques pourrait être problématique pour certaines voies de mise en valeur. Il serait intéressant de valider ultérieurement si la concentration de ces contaminants organiques et inorganiques est constante dans toutes les strates granulométriques.

Les tests de perméabilité et de gradient hydraulique n'ont pas été compilés puisqu'ils n'ont pas été mesurés dans la phase 1. Ce test vise à évaluer l'utilisation des fines comme matière de recouvrement de LEDCD et LET et le projet explore plutôt d'autres voies de mise en valeur.

Le test de compostage effectué par le CRIQ (Centre de recherche industriel du Québec) indique que le résidu testé ne peut se composter et/ou servir d'amendement dans le compost (source : Analyse de résidus pour le compostage – Transmission des résultats Dossier CRIQ n° 640-PX40284 transmis au centre de tri A en 2009). Il est important de spécifier que les fines d'un seul gisement ont été soumises à ce test.

La compilation de ces analyses se retrouve à l'annexe 2.

2. FILIÈRES POTENTIELLES DE VALORISATION

Une revue de littérature, des sessions de « brainstorming » et des rencontres avec le comité du projet a permis de cibler les voies ayant le plus de potentiel. Des fiches descriptives créées pour chacune des voies suivantes se retrouvent à l'annexe III:

- Abrasif de voirie
- Agriculture
- Béton recyclé
- Captation (SO₂, phosphore)
- Ciment
- Compost
- Enrobés bitumineux - chaud
- Enrobés bitumineux – froid
- Géopolymères
- Litière
- Matière de charge
- Remplissage
- Séquestration CO₂

Les voies jugées trop exploratoires ou à taux de succès faible par le comité de projet n'ont pas été retenues. Il s'agit des pistes suivantes :

- Agent liant
- Valorisation énergétique (fraction organique)
- Épaississant
- Matière absorbante
- Média filtrant
- Sous-route

2.1. IDENTIFICATIONS DE FILIÈRES POTENTIELLES

Plusieurs voies de mise en valeur ont été évaluées dans la phase 1 du projet. Toutefois, celles-ci ne présentent pas le même niveau d'effort pour être implantées, ce qui est vrai aussi pour les bénéfices économiques et environnementaux qu'il serait possible d'en tirer. Afin de les départager selon ces

aspects, ces différentes pistes de mise en valeur ont été hiérarchisées en évaluant différents critères pour les efforts et les bénéfiques. Une grille de critères reliés aux efforts et aux bénéfiques reliés à leur implantation a été élaborée par le CTTÉI et validée par le comité du projet. Ces critères et la pondération utilisée sont spécifiés dans les paragraphes suivants. On retrouve l'évaluation détaillée de chacune des voies dans les fiches de l'annexe 3.

Critères reliés aux Efforts (un chiffre élevé indique un plus grand effort à fournir)

- Niveau de transformation nécessaire :
 - Lavage ou autre décontamination (3)
 - Broyage ou séchage (2)
 - Tamisage (1)
 - Tel quel (0)
- Maturité technologique :
 - R & D, long terme (3 ou plus)
 - R & D, moyen terme (2)
 - À tester, court terme (1)
 - Validée (0)
- Demande stable et continue :
 - Non(1)
 - Oui (0)
- Aspect réglementaire et acceptabilité sociale :
 - Demande de C.A. et modification réglementaire et acceptabilité sociale difficile (3)
 - Demande de C.A. et modification réglementaire ou acceptabilité sociale difficile (2)
 - Demande de C.A. (1)
 - Aucune (0)

Critères reliés aux Bénéfices potentiels (un chiffre élevé indique des bénéfiques plus importants)

- Retombées économiques :
 - Possibilité de vendre la matière (3)
 - Évite des frais (2)
 - Équivalent au recouvrement journalier (-20 \$/tonnes) (1)
 - Plus cher que le recouvrement journalier (0)
- Quantité écoulee (% tonnage annuel 300 000 tonnes/an) :
 - Élevée > 50 % (3)
 - Moyenne 10 à 50 % (2)
 - Basse < 10 % (1)
- Preneurs multiples
 - Oui (1)
 - Non (0)
- Retombées environnementales (concordance avec les 3R-V, GES, etc.)
 - Élevées (3)
 - Moyennes (2)
 - Faibles (1)
 - Nulles (0)

La proximité des débouchés par rapport au gisement n'a pas été considérée puisque les centres de tri sont répartis dans différentes régions du Québec et que certaines voies sont plus régionalisées. Ce critère ne peut donc pas être évalué globalement. L'acceptabilité sociale est aussi importante et a été incluse à l'aspect réglementaire.

Les prochains tableaux et graphiques présentent les résultats obtenus suite à l'évaluation des 12 voies de mise en valeur retenues en fonction des critères présentés plus haut. Le CTTÉI a invalidé la fabrication de géopolymères puisque des essais effectués en laboratoire ont démontré que les fines ne présentent finalement pas les caractéristiques chimiques recherchées pour cette application. Les critères de cette étude comparative ont été fixés au meilleur des connaissances de l'équipe de Chamard/CTTÉI et validés par le comité technique de l'étude. Dans un premier temps, une évaluation où chaque critère possède la même importance (donc sans pondération) a été effectuée. Les résultats des tableaux 19 et 20 ont été portés sur un graphique (figure 4), ce qui permet de visualiser le positionnement des voies les unes par rapport aux autres. En appliquant une pondération pour prioriser certains critères, on constate que le résultat diffère un peu (figure 5) :

- Efforts :
 - Transformation (35 %)
 - Maturité technologique (35 %)
 - Demande stable et continue (15 %)
 - Aspect réglementaire (15 %)

- Bénéfices :
 - Valeur en fonction du coût de matière de recouvrement (35 %)
 - Quantité écoulée (35 %)
 - Preneurs multiples (15 %)
 - Retombées environnementales (15 %)

TABLEAU I9 Effort pour les voies de mise en valeur des fines CRD (sans pondération)

Voie de mise en valeur	Transformation				Maturité technologique				Demande stable et continue		Aspect réglementaire				Total
	Très complexe (lavage ou autre décontamination)	Complexe (ex. : Séchage / Broyage)	Simple (ex. : tamisage)	Tel quel	R & D Long terme	R & D Court terme	À tester	Validée	Non	Oui	Modification et acceptation	Modification ou acceptation	C.A.	Aucun	
	3	2	1	0	3 ou plus	2	1	0	1	0	3	2	1	0	11
Abratif de voirie			1				1		1			2			5
Agriculture			1				1		1		3				6
Béton recyclé		2			3					0		2			7
Captation (SO ₂ , phosphore)	3					2				0	3				8
Ciment			1				1			0			1		3
Compost			1				1			0	3				5
Enrobés bitumineux - chaud			1		3				1		3				8
Enrobés bitumineux - froid			1		3				1			2			7
Litière		2					1			0	3				6
Matière de charge	3					2				0		2			7
Remplissage			1				1		1		3				6
Séquestration CO ₂			1		4				1				1		7

TABLEAU 20 Bénéfice pour les voies de mise en valeur des fines CRD (sans pondération)

Voie de mise en valeur	Valeur en fonction du coût de matière de recouvrement				Quantité écoulée (% tonnage annuel) :			Preneurs multiples		Retombées environnementales				Total
	Gain	Évite frais	Coût égal	> coût	Élevée >50 %	Moyenne 10 à 50 %	Basse < 10 %	Oui	Non	Élevées	Moyennes	Faibles	Nulles	
	3	2	1	0	3	2	1	1	0	3	2	1	0	10
Abrasif de voirie		2			3			1			2			8
Agriculture		2				2		1			2			7
Béton recyclé		2			3			1			2			8
Captation (SO ₂ , phosphore)			1			2		1			2			6
Ciment			1		3				0			1		5
Compost				0		2		1				1		4
Enrobés bitumineux - chaud			1			2		1			2			6
Enrobés bitumineux - froid			1			2		1			2			6
Litière	3						1	1			2			7
Matière de charge		2					1	1			2			6
Remplissage			1		3			1				1		6
Séquestration CO ₂		2				2		1			2			7

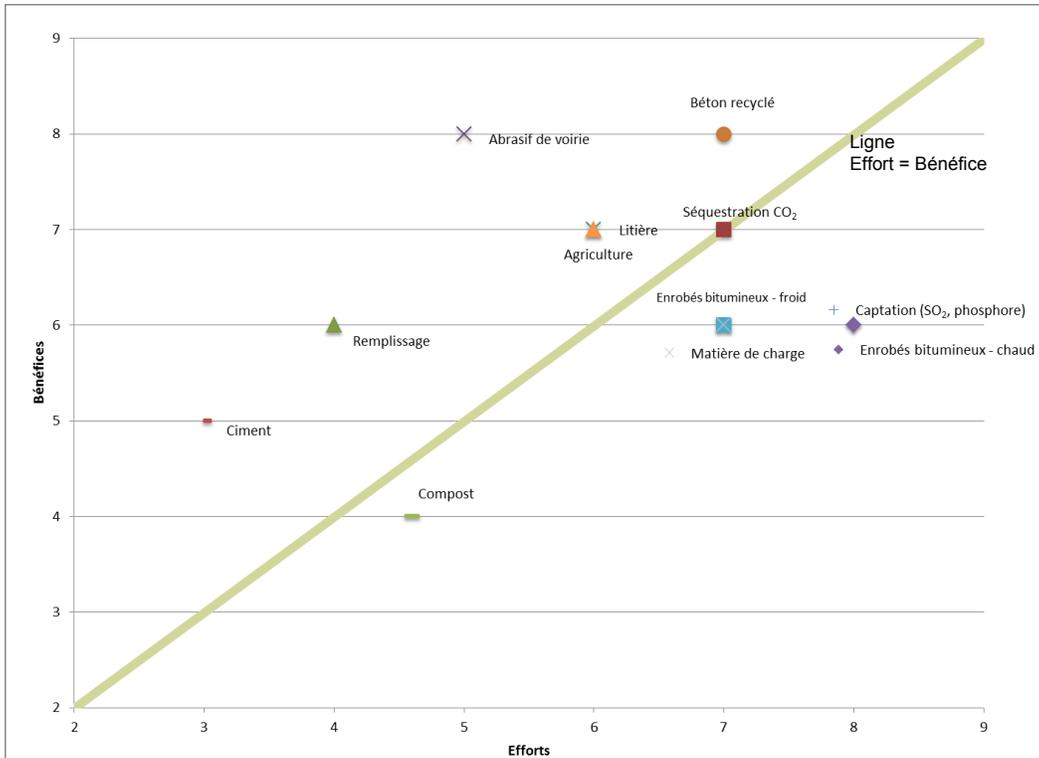


FIGURE 4 Graphique Efforts / Bénéfices (sans pondération)

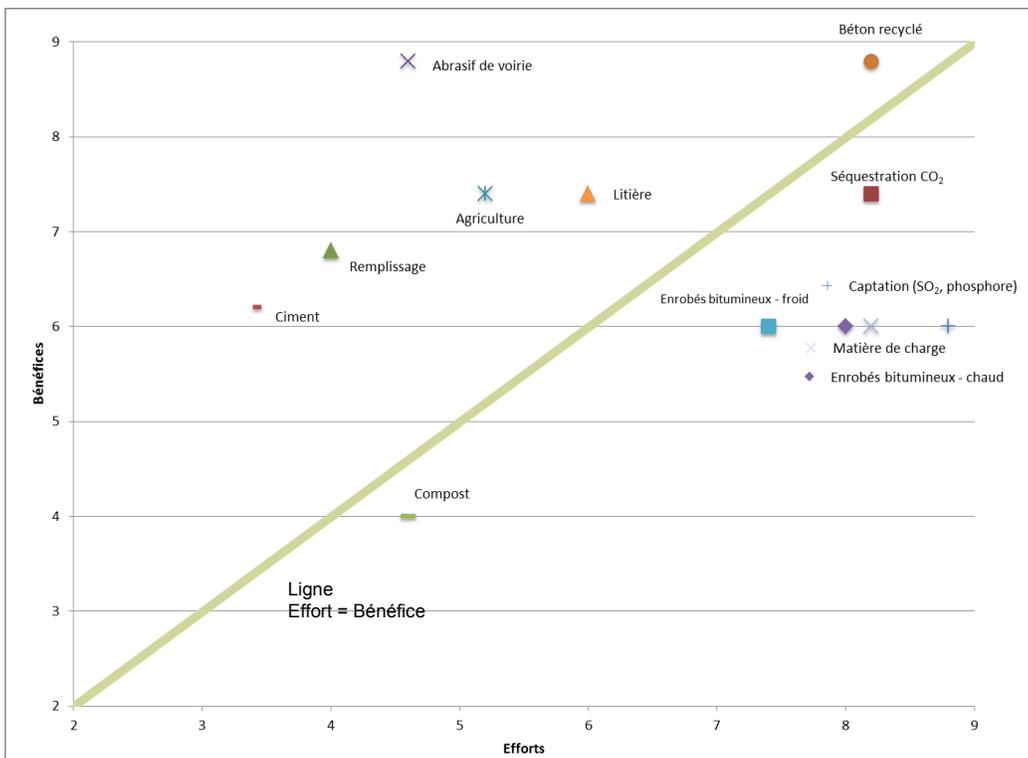


FIGURE 5 Graphique Efforts / Bénéfices (avec pondération)

Afin de cibler les voies les plus avantageuses, il faut favoriser celles ayant un meilleur ratio Bénéfices/Efforts (celles situées à gauche ou sur la ligne des graphiques). Le tableau suivant permet d'effectuer un classement des voies.

TABLEAU 21 Classement Bénéfices / Efforts

Voie de mise en valeur	Efforts	Bénéfices	Bénéfices/Efforts Sans Pondération	Bénéfices/Efforts Avec Pondération
Abrasif de voirie	5	8	1,6	1,9
Ciment	3	5	1,7	1,8
Remplissage	4	6	1,5	1,7
Agriculture	6	7	1,2	1,4
Litière	6	7	1,2	1,2
Béton recyclé	7	8	1,1	1,1
Compost	5	4	0,8	0,9
Séquestration CO ₂	7	7	1,0	0,9
Enrobés bitumineux - froid	7	6	0,9	0,8
Enrobés bitumineux - chaud	8	6	0,8	0,8
Matière de charge	7	6	0,9	0,7
Captation (SO ₂ , phosphore)	8	6	0,8	0,7

2.2. FILIÈRES PRÉSENTANT DES POSSIBILITÉS DE VALORISATION

Selon ce classement, le ciment, les abrasifs de voirie et le remplissage se démarquent comme les débouchés les plus intéressants à explorer en phase 2, autant par leurs bénéfices importants que pour les efforts raisonnables nécessaires pour les mettre en œuvre. L'utilisation des fines en agriculture et comme litière semble être également des possibilités intéressantes. Toutefois, le débouché de la litière risque d'être particulièrement difficile à autoriser dû aux normes relatives au contact animal et il existe des résidus plus intéressants pour cette utilisation. Il ne sera donc pas sélectionné pour la phase 2. L'agriculture est aussi retirée de la liste puisque l'acceptation sociale relative à cette utilisation risque d'être très sensible.

Finalement, compte tenu de l'ensemble des informations récoltées et suite à des discussions avec les clients, l'équipe Chamard / CTTÉI a choisi d'approfondir les voies suivantes dans la phase 2 du projet :

- Abrasif de voirie
- Fabrication du ciment
- Remplissage de carrières et sablières

En complément, le CTTÉI a effectué gratuitement des tests de captation du phosphore avec des fines CRD afin de statuer sur ce potentiel.

3. ÉTUDE DES FILIÈRES RETENUES

Les analyses effectuées en phase 2 visaient à statuer sur la possibilité d'utiliser les fines de criblage comme abrasif routier, matière première alternative dans la fabrication du ciment et comme matière de remplissage dans les carrières et sablières. L'analyse des résultats en fonction des critères applicables à ces voies sera présentée dans les sections suivantes. Un résumé de l'utilisation des fines CRD pour la captation du phosphore sera aussi présenté.

3.1. ABRASIFS ROUTIERS

Des abrasifs sont épanchés en saison hivernale sur la majorité du réseau routier québécois lorsqu'il y a présence de glace afin d'augmenter l'adhérence des véhicules sur la chaussée. De grandes quantités d'abrasifs sont donc utilisées et la demande est importante sur tout le territoire québécois. Afin de valider si les fines CRD peuvent être utilisées à cette fin, différents tests ont été effectués.

La granulométrie d'un abrasif routier doit se situer à l'intérieur de l'un des fuseaux granulométriques spécifié par le MTQ et présenté dans le tableau 22. Cette analyse doit être réalisée conformément à la méthode d'essai LC 21-040 « Analyse granulométrique » du Ministère et le tableau 23 présente les caractéristiques intrinsèques et complémentaires à rencontrer. Le fuseau granulométrique AB-5 correspond aux abrasifs constitués de pierre concassée, alors que l'AB-10 correspond à ceux composés de sable tamisé.

TABLEAU 22 Fuseau granulométrique d'abrasifs de voirie (norme I4044)

Tamis	AB-5 (% passant)	AB-10 (% passant)
10 mm	—	100
8 mm	100	—
5 mm	85-99	95-100
2,5 mm	1-15	—
1,25 mm	0-5	0-70
630 µm		0-50
315 µm		0-35
160 µm		0-15
80 µm		0-5

TABLEAU 23 Caractéristiques intrinsèques et complémentaires d'un abrasif de voirie

Granulats fins	Méthode d'essai	Exigences
Caractéristiques intrinsèques		Micro-Deval (MD) ≤ 35
Caractéristiques complémentaires : - teneur en eau (%)	LC 21-201	≤ 5

En plus de satisfaire les caractéristiques physiques d'un abrasif selon les normes du MTQ, le matériel utilisé doit aussi respecter le critère A des sols (Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction). Selon le MDDELCC, un nouveau document serait actuellement en validation pour autoriser la réutilisation des abrasifs récupérés lors du balayage de rue. Ceci permettrait l'atteinte du critère A-B pour les paramètres Hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ et HAP.

Telles quelles, les fines ne peuvent être utilisées comme abrasif routier puisque qu'elles ne respectent pas les critères des sols, l'exigence Micro-Deval et la granulométrie. L'utilisation des fines comme abrasif routier pourrait être rendue possible à condition de :

- Trier et broyer séparément le béton et les céramiques (cette fraction représente 30 % massique des fines) qui sont les plus susceptibles de rencontrer le critère Micro-Deval de ≤ 35 %.
- Sécher (ou entreposer à couvert) la fraction béton/céramique pour réduire sa teneur en eau.
- Tamiser de manière à conserver la fraction située entre 160 microns et 5 mm.
- Effectuer de nouveau les analyses nécessaires pour confirmer le respect de l'ensemble de ces critères.

3.2. CIMENT - MATIÈRE PREMIÈRE ALTERNATIVE

La forte teneur en calcium des fines CRD pourrait en faire une matière intéressante pour la fabrication du clinker, en remplacement du calcaire (CaCO_3) utilisé comme principale matière première. La seule exigence du MDDELCC à ce sujet est que les émissions des cimenteries respectent les normes environnementales et les certificats d'autorisation. Comme produit d'addition (mélange avec le clinker pour produire le ciment), les critères des cimenteries prendront également en compte l'impact sur la qualité du ciment selon les normes ASTM, CSA ou autre. L'ajout de matières résiduelles ne doit donc pas nuire à la qualité finale du ciment.

Pour que les fines puissent être insérées dans la partie froide du four de cimenterie (clinker), elles doivent :

- Avoir une teneur en matière organique maximale de 2 % (Groupe CRH)
- Avoir une teneur en soufre maximale de 1,5 à 2 %
- Avoir une teneur en eau inférieure à 2 % (Groupe CRH)
- Pouvoir alimenter la cimenterie avec le tonnage minimal requis (varie selon les preneurs)
- Ne pas nuire à la qualité du ciment

Ce débouché est donc possible si la matière organique est retirée, que l'on enlève le gypse pour rencontrer la teneur en soufre requise, que l'on sèche les fines ou les conserve à l'abri de l'humidité. Il faut considérer également qu'une batterie de tests visant à caractériser en détail la matière est nécessaire pour se qualifier. De plus, les cimenteries offrent un service et s'attendent à être payées pour prendre une matière.

3.3. REMPLISSAGE DE CARRIÈRES ET SABLIERES

Selon le Règlement sur les carrières et sablières (L.R.Q., c. Q-2, a. 23 et a. 31, par. c, e et f), les matières suivantes sont autorisées pour le remblayage :

- i. « de la terre, du sable, du gravier ou de la pierre;
- ii. des résidus de nature minérale issus de l'extraction d'agrégats;
- iii. des boues générées par les bassins de sédimentation utilisés dans les procédés d'extraction d'agrégats ou de transformation de pierre de taille, dont la siccité est égale ou supérieure à 15 % et qui, lorsque mis à l'essai par un laboratoire accrédité par le ministre en vertu de l'article 118.6 de la Loi, ne contiennent pas de liquide libre;
- iv. des particules de nature minérale récupérées par un système d'épuration d'air et issues du concassage et du tamisage d'agrégats, de pièces de béton de ciment ou de brique, à l'exception de la brique réfractaire; et restauration de la couverture végétale de la surface. »

Les fines CRD n'étant pas nommées spécifiquement dans cette liste, il serait nécessaire de connaître les propriétés physicochimiques attendues d'une matière de remplissage autorisée et de les comparer avec celles des fines CRD. Pour que les fines CRD puissent être ajoutées comme matière autorisée au Règlement sur les carrières et sablières par une modification réglementaire, elles devront satisfaire le critère A des sols et respecter les teneurs autorisées en corps étrangers (ex. : plastiques, métaux, etc.). Les dernières matières à avoir rencontré ce critère sont les boues de bassins de sédimentation. C'est d'ailleurs la Direction des eaux usées du MDDELCC qui est responsable de l'élaboration de ces critères.

L'utilisation des fines CRD comme matière de remplissage pour les carrières et sablières peut être rendue possible si les centres de tri effectuent un meilleur tri à la source pour limiter la teneur en gypse, bardeaux et corps étrangers. Rappelons qu'une modification réglementaire préalable est nécessaire.

3.4. CAPTATION PHOSPHORE

Le CTTÉI a reçu une subvention de recherche du CRSNG pour étudier la captation du phosphore à partir de résidus dans les marais filtrants artificiels. Les fines de CRD ont été testées dans le cadre de ce projet à partir de la méthode ASTM D4646 – 03 : Standard test method for 24-h batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments. On a pu constater que le Ca, Mg, Fe et Al ont un réel potentiel de captation du phosphore, mais que la granulométrie requise doit être supérieure à 1 mm. Les fines CRD de la chaudière 8 ont été utilisées.

Dans l'optique où les fines CRD seraient utilisées comme sable de filtration dans le traitement des eaux usées des résidences isolées, des tests plus spécifiques pour cette application devront être réalisés puisque les caractéristiques ne sont pas les mêmes que dans les marais filtrants artificiels. L'article 37 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2, r.8) définit les règles de fabrication des champs d'épuration faits de sable filtrant et indique que « le sable filtrant doit respecter les caractéristiques suivantes :

- i. Le diamètre effectif est compris entre 0,25 et 1 mm;
- ii. Le coefficient d'uniformité est inférieur ou égal à 4,5;
- iii. Moins de 3 % des particules ont un diamètre inférieur à 80 µm;
- iv. Moins de 20 % des particules ont un diamètre supérieur à 2,5 mm ».

Les fines CRD ont démontré un potentiel intéressant d'adsorption du P (phosphore) sous différentes conditions expérimentales. Toutefois, le phénomène de lessivage d'éléments réactifs face au P, le relargage du P, ainsi que le pH final, sont de possibles contraintes à leur utilisation dans cette application. Un conditionnement visant à séparer les différents constituants des fines CRD pourrait être une approche à explorer pour améliorer la performance des fines CRD. Il est à noter que les résultats obtenus provenaient d'essais réalisés en mode statique et avec des conditions expérimentales qui diffèrent vraisemblablement de celles qui auront lieu dans l'application finale. Ainsi, seuls des essais en conditions réelles, ou simulant le plus fidèlement possible ces conditions réelles, permettront d'évaluer adéquatement la performance de captation du P des fines CRD. L'annexe 4 contient les résultats des tests effectués sur l'échantillon de fines CRD, la méthodologie et les références associées à ce projet de recherche.

3.5. RÉCAPITULATION

	Critères des sols	Propriétés physiques	Doit enlever
Abrasive de voirie	Critères A, sauf HAP et C-10 & C-50 critères B	Micro-Deval : < 35 % Granulométrie	Bois Gypse Bardeau MO
Captation phosphore	À valider	Granulométrie	À valider
Cimenterie	Non applicable	Non combustible Contaminants (soufre) Granulométrie	Bois Gypse Bardeau Plastique MO
Remplissage	Critères A	Granulométrie Sans contaminant	Plastique Gypse Métal Bardeau
Recouvrement journalier (voie actuellement en place)	Non applicable	Granulométrie Conductivité hydraulique Contaminants (soufre)	Gypse

CONCLUSION

- Aucune option facile à implanter.
- La présence de gypse et de bardeaux est clairement problématique pour atteindre les critères A des sols.
- Il semble y avoir des différences selon les pratiques des centres de tri; il y a moins de contaminants dans les échantillons 5 et 6 qui possèdent des tamis plus fins.
- L'hétérogénéité des fines CRD complique les analyses et les constats; un suivi dans le temps et des analyses répétées seraient souhaitables.
- Accepter fines dans carrières/sablières selon critères discutés avec MDDELCC.
- Les fines ont un bon pouvoir de captation du phosphore, mais il y a une problématique de lessivage.

RECOMMANDATIONS

- Utiliser les fines CRD comme matière de remplissage dans les carrières/sablières est la piste la plus prometteuse.
- On trouve des carrières et sablières dans toutes les régions du Québec.
- Une modification réglementaire est nécessaire.
- Des discussions avec MDDELCC permettraient de définir les modalités d'acceptation.
- Effectuer des tests de captation du phosphate en conditions réelles afin d'évaluer adéquatement la performance de captation du P des fines CRD telles quelles et conditionnées pour augmenter l'efficacité.

RÉFÉRENCES

- B. Gomez-Meijide et al. / Journal of Cleaner Production 112 (2016)
- Bianchini, G., Marrocchino, E., Tassinari, R., & Vaccaro, C. (2005). Recycling of construction and demolition waste: a chemical-mineralogical appraisal. Waste Management, 25, 149–159
- Énergie et Ressources naturelles Québec. Le ciment - Expéditions du Québec et prix
<https://www.mern.gouv.qc.ca/mines/statistiques/substance/substance-ciment.jsp>
- Fernando Rodrigues et al. (2013). Physical, chemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants. Journal of Cleaner Production
- Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf
- Huntzinger, D.N., Gierke, J.S., KomarKawatra, S., Eisele, T.C. and Sutter, L.L. Carbon dioxide sequestration in cement kiln dust through mineral carbonation. Environmental Science & Technology, 2009, vol. 43(6), p. 1986-1992
- Komnitsas K. et al. (2007). Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. Minerals Engineering 20;1261–1277.
- Kostas Komnitsas a, Dimitra Zaharaki a, Antigoni Vlachou a, Georgios Bartzas b, Michalis Galetakis., Effect of synthesis parameters on the quality of construction and demolition wastes (CDW) geopolymers. Advanced Powder Technology 26 (2015) 368–376.
- L. Evangelista & J. de Brito (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review, European Journal of Environmental and Civil Engineering, 18:2, 129-172
- Leclerc, Audrey. UTILISATION DE MATIÈRES RÉSIDUELLES POUR LA RESTAURATION DES CARRIÈRES ET SABLIERES EN FIN DE VIE: MODÈLES ET APPLICABILITÉ AU QUÉBEC SELON UNE APPROCHE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). Université de Sherbrooke. Septembre 2012.
https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2012/Leclerc_A__18-10-2012_.pdf
- Lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostage
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/valorisation/lignesdirectrices/compostage.pdf>
- Lin, R.-B, Shish, S.-M. and Liu, C.-F. Characteristics and reactivities of CA(OH)2/silica fume sorbents for low-temperature flue gas desulfurization, Chemical Engineering Science. 2003, 58, 3659-3668
- Ministère de l'Environnement. Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction.
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/inorganique/matiere-residuelle-inorganique.pdf.
- Norme BNQ 0419-090/2005 Amendements minéraux – Amendements calciques ou magnésiens provenant de procédés industriels

NORME CSA A23.1. Béton : constituants et exécution des travaux ; Méthodes d'essai et pratiques normalisées pour le béton / Groupe CSA

Ouvrages Routiers. Cahier des charges et devis généraux. Déneigement et déglacage.

<http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=9&file=ccdg-dd16.pdf>

Règlement modifiant le Règlement sur les carrières et sablières:

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/reglement/carriere-sabliere.pdf>

Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2, r.8)

http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R22.HTM

Santé Canada. Le formaldéhyde. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/in/poll/construction/formaldehyde-fra.php>

Tableau 14401-1 de la norme 14404 « Abrasifs » du Tome VII – Matériaux de la collection Normes – Ouvrages routiers du ministère des Transports

Transports Québec. Enrobés à chaud formulés selon la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées. Tome VII, Chapitre 4, Norme 4202, date 2015/12/15

Transports Québec. Enrobés pour rapiéçage à froid. Tome VII, Chapitre 4, Norme 4501, date 2014/12/15

Van Deventer J.S.J. et al. (2012). Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement. Minerals Engineering 29; 89–104.

Willett, Jason W. 2013 Minerals Yearbook; Stone, Crushed, USGS, avril 2015

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/myb1-2013-stonc.pdf

ANNEXE I

Photos de la caractérisation visuelle

Tableau I Caractérisation visuelle de l'échantillon I

Matières – Échantillon 1	Photo
Bardeau	
Bois	
Béton et brique	

Matières – Échantillon 1	Photo
Céramique et porcelaine	 A photograph showing several irregular, light-colored fragments of ceramic and porcelain scattered in a silver foil tray. The fragments vary in size and shape, some appearing as thin shards and others as larger, more solid pieces.
Autres	 A photograph showing a collection of small, irregular fragments and debris in a silver foil tray. The fragments are light-colored and appear to be a mix of different materials, possibly including small pieces of ceramic, porcelain, and other non-metallic substances.
Échantillon 1 > 4,75 mm	 A photograph showing a large quantity of light-colored, irregular fragments of ceramic and porcelain in a silver foil tray. The fragments are larger than those in the previous images, with many pieces being angular and sharp-edged.
Gypse	 A photograph showing a large number of small, rounded, light-colored particles in a silver foil tray. These particles appear to be gypsum, characterized by their uniform, somewhat spherical shape and light tan color.

Matières – Échantillon 1	Photo
Laine minérale	
Métal	
Papier et carton	
Plastiques	

Matières – Échantillon 1 **Photo**

Roche, sol, terre



Verre



Tableau 2 Caractérisation visuelle de l'échantillon 5

Matières – Échantillon 5	Photos
Bardeau	
Bois	
Béton et brique	
Céramique et porcelaine	

Matières – Échantillon 5	Photos
Autres	
Échantillon 4 > 4,75 mm	
Gypse	

Matières – Échantillon 5	Photos
Laine minérale	
Métal	
Papier et carton	

Matières – Échantillon 5	Photos
Plastiques	
Roche, sol, terre	
Verre	

Tableau 3 Caractérisation visuelle de l'échantillon 6

Matières – Échantillon 6	Photos
Bardeau	
Bois	
Béton et brique	

Matières – Échantillon 6	Photos
Céramique et porcelaine	
Autres	
Échantillon 6 > 4,75 mm	

Matières – Échantillon 6	Photos
Gypse	
Laine minérale	
Métal	

Matières – Échantillon 6	Photos
Papier et carton	
Plastiques	
Roche, sol, terre	
Matières organiques	

Matières – Échantillon 6	Photos
Verre	

Tableau 4 Caractérisation visuelle de l'échantillon 7

Matières – Échantillon 7	Photos
Bardeau	
Bois	
Béton et brique	

Matières – Échantillon 7	Photos
Céramique et porcelaine	
Autres	
Échantillon 7 > 4,75 mm	
Gypse	

Matières – Échantillon 7	Photos
Laine minérale	
Métal	
Papier et carton	

Matières – Échantillon 7	Photos
Plastiques	
Roche, sol, terre	
Matières organiques	
Verre	

ANNEXE 2

Analyses reçues des centres de tri visités
(Identifiés de A à F pour conserver l'anonymat)

Granulométrie
Concentration en métaux
Autres analyses centre de tri A
Autres analyses centre de tri F

Granulométrie

Laboratoire	Qualitas	Qualitas	Qualitas	Quéformat	Quéformat	Qualitas										
Date	2014-09-24	2014-07-09	2015-05-08	2009-03-30	2009-03-30	2010-11-09	2011-04-07	2011-04-07	2011-04-07	2011-04-07	2011-04-07	2012-04-26	2012-04-26	2012-08-14	2012-08-14	2012-08-14
Centre/ Tamis	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
80 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
56 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97,8	100
40 mm	100	100	100	100	100	98,7	100	91,9	100	99,1	100	100	100	100	93,2	98,7
31,5 mm	100	100	100	100	100	98,7	99,9	85,6	100	90,5	99,3	100	100	100	83,5	94,7
20 mm	99,7	99	99	99	98,3	88,1	96,1	97,9	100	70,1	96,3	100	100	100	61,5	88,4
14 mm	93,3	90,3	93,6	98,8	96	59,9	87,2	52	99,7	45,7	91,6	99,9	99,7	48,3	77,7	
10 mm	82,1	79,9	83,4	95,4	92,6	29,7	76,6	40,6	95,5	24,4	85,4	99	99,2	42,1	68,4	
5mm	55,1	54,4	57,9	65,2	71,1	11,8	51,5	26,8	67,1	13,4	63,6	84	88,5	33,8	49,8	
2,5 mm	45,2	40	45,9	50	55,5	10,6	42,2	22,6	56,7	11,8	50	69,8	75,5	29,8	41,3	
1,25 mm	37,1	29,6	39,2	39,6	44,8	9,5	36	19,8	47	10,8	38,2	53,1	61,9	26,2	33,2	
0,630 mm	29,6	22,2	32,5	31	37,9	8	30	17,2	38	9,5	29,2	42,7	49,4	21,9	25,5	
0,315 mm	22,5	15,8	25,1	24	32,1	6,3	23,2	13,8	29,6	8	23,1	31,1	38,4	16	19,1	
0,160 mm	15,5	11,4	18,3	20,4	28,4	4,8	16,8	10,4	23,1	6,3	18,5	22,9	29,7	10,5	13,5	
0,080 mm	11,8	8,7	12,8	18,1	25,7	3,9	13,9	8,3	19	5,3	15,4	18,2	24,1	7,7	10,3	

Granulométrie, suite

Laboratoire	SMi	SMi	SMi	Qualitas	ABS	Qualitas	ABS	Moyenne totale	Écart type
Date	2015-10-26	2015-08-23	2013-06-23	2014-08-08	2014-11-21	2014-12-15	2010-11-21	N/A	N/A
Centre/ Tamis	B	B	B	C	C	D	E	N/A	N/A
200 mm	100	100	100	100	100	100	100	100,0	0,0
112 mm	100	100	100	100	100	100	100	100,0	0,0
80 mm	100	100	100	100	100	100	100	100,0	0,0
56 mm	100	100	100	100	100	100	100	99,8	0,7
40 mm	100	100	100	97	100	100	100	98,5	2,7
31,5 mm	96	98	100	ND	99	99	100	96,9	5,1
28 mm	ND	ND	ND	90	ND	ND	ND	90,0	N/A
20 mm	76	84	98	77	88	91,6	98	91,2	11,1
14 mm	60	71	95	62	83	80,3	94	80,9	18,3
10 mm	52	62	94	50	79	72	91	72,5	23,2
5mm	38	46	89	32	70	50,2	82	54,6	22,3
2,5 mm	31	34	56	28	63	40,2	73	44,2	17,9
1,25 mm	25	24	49	25	52	32,5	63	36,2	14,6
0,630 mm	20	18	37	24	42	26	51	29,2	11,6
0,315 mm	16	13	22	19	31	20,3	37	22,1	8,6
0,160 mm	13	10	13	15	21	14,8	25	16,5	6,7
0,080 mm	11,7	8,2	9	11,7	14,7	11,4	17,9	13,1	5,7

ND : non disponible
N/A : non applicable
Concentration en métaux

Centre de tri Laboratoire		Métaux - Concentrations (mg/kg)																	
		Arsenic	Baryum	Cadmium	Chrome	Cuivre	Cyanure	Fluorure	Mercuré	Nickel	Plomb	Sélénium	Soufre	Zinc	Argent	Cobalt	Étain	Manganèse	Molybdène
Critères ⁴ génériques du MDEELCC	A	<u>6</u>	<u>200</u>	<u>1,5</u>	<u>85</u>	<u>40</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>0,2</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>1</u>	<u>400</u>	<u>110</u>	<u>2</u>	<u>15</u>	<u>5</u>	<u>770</u>	<u>21</u>
	B	30	500	5	250	100	10	50	2	100	500	3	1000	500	20	50	50	1 000	10
	C	50	2 000	20	800	500	100	300	10	500	1 000	10	2 000	1 500	40	300	300	2 200	40
A1	BPR	<u>9,5</u>	83	1,1	<45	<u>78</u>	<2	<10	<u>0,4</u>	33	<u>177</u>	<1	<u>58 300</u>	<u>633</u>	ND	ND	ND	ND	ND
A2	BPR	<5,0	81	1,5	<45	<u>49</u>	<2	<10	<u>0,6</u>	50	<u>91</u>	<1	<u>58 300</u>	<u>325</u>	ND	ND	ND	ND	ND
A3	BPR	<5,0	59	<0,9	53	<40	<2	<10	<u>0,6</u>	35	<u>215</u>	<1	<u>65 900</u>	<u>480</u>	ND	ND	ND	ND	ND
A4	BPR	<u>6,1</u>	72	1,4	<u>568</u>	<u>86</u>	<2	<10	<u>0,5</u>	312	<u>214</u>	<1	<u>29 700</u>	<u>389</u>	ND	ND	ND	ND	ND
F	MAXXAM	<u>22</u>	120	<u>3</u>	20,0	<u>65</u>	ND	ND	ND	15,0	<u>200</u>	ND	<u>42 000</u>	<u>450</u>	< 0,5	7	<u>9</u>	270	2

ND : non disponible

Autres analyses - Centre de tri A

Identification de l'échantillon Laboratoire	Composés organiques semi-volatils - Concentrations (mg/kg)																	
	Acénaphthène	Acénaphthylène	Anthracène	Benzo (a) anthracène	Benzo (a) pyrène	Benzo (b,i) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (ghi) pérylène	Chrysène	Dibenzo (a,h) anthracène	Fluoranthène	Fluorène	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	Naphtalène	Phénanthrène	Pyrène	Hydrocarbures pétroliers C10-C50	
Critères ⁽¹⁾ génériques du MDDEP	A	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	300
	B	10	10	10	1	1	1	1	1	1	1	10	10	1	5	5	10	700
	C	100	100	100	10	10	10	10	10	10	10	100	100	10	50	50	100	3500
A1	1,4	0,6	4,2	6	5	9,1	9,1	3,1	6,5	0,9	14,2	1,9	2,9	2,3	16,1	11,7	-	
A2	4,2	1,5	16,5	23,1	17,5	32,7	32,7	10,8	21,6	3	56,8	4,7	9,2	5,9	64,7	44,5	2260	
A3	7,1	2,1	22,6	26	18,3	30,9	30,9	11,1	23,8	3,4	63,2	15,3	9,4	11,5	92,2	48,6	2990	
A4	1,9	0,5	5,3	8	5,7	8,99	3,6	3,1	6,9	1	18,5	2,8	2,9	2,6	19,5	14,6	2450	

1: Tirés de la Politique de protection des terrains contaminés du MDDEP, 1991 et 2001.

MDDEP: Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs

Autres analyses - Centre de tri A

Identification de l'échantillon	Concentration dans le lixiviat d'une matière solide (mg/L) (Laboratoire BPR)												
	Arsenic	Baryum	Bore	Cadmium	Chrome	Cyanures totaux	Fluorures	Mercure total	Nitrites	Nitrites-nitrates	Plomb	Sélénium	Uranium
Normes du RMD⁽¹⁾	5	100	500	0,5	5	20	150	0,1	100	1000	5	1	2
A1	<0,02	ND	<5	ND	<0,01	ND	ND	<0,001	-	1,72	0,34	ND	<0,5
A2	ND	ND	<5	ND	0,02	ND	ND	0,0007	<1	<0,05	0,08	ND	<0,5
A3	<0,02	ND	<5	ND	ND	ND	ND	0,0006	<0,05	<1	0,09	ND	<0,5
A4	0,007	ND	<5	<0,01	<0,02	ND	ND	<0,0002	<1	<0,05	0,48	ND	<0,5

ND : non disponible

Résultats analytiques -Lixiviation pour simuler les pluies acides

Identification de l'échantillon	Concentration dans le lixiviat d'une matière solide (mg/L) (Laboratoire BPR)										
	Arsenic	Baryum	Bore	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fluorure	Mercure	Plomb	Sélénium	
Critères (1)	0,25	10	50	0,05	0,5	10	15	0,01	0,1	0,1	
A1	<0,02	ND	<5	ND	ND	<0,1	ND	<0,001	<0,05	ND	
A2	ND	ND	<5	ND	ND	<0,1	ND	<0,001	<0,05	ND	
A3	ND	ND	<5	ND	ND	ND	ND	<0,0005	<0,05	ND	
A4		ND		ND			ND			ND	

ND : non disponible

Autres analyses - Centre de tri A

Résultats analytiques -Lixiviation à l'eau

Identification de l'échantillon	Concentration dans le lixiviat d'une matière solide (mg/L) (Laboratoire BPR)										
	Arsenic	Baryum	Bore	Cadmium	Chrome	Cuivre	Cyanure	Fluorure	Mercure	Plomb	Sélénium
Critères (1)	0,025	1	5	0,005	0,05	1	0,2	1,5	0,001	0,01	0,01
A1	0,04	ND	<5	ND	ND	<0,1	ND	ND	<0,001	0,11	ND
A2	ND	ND	<5	ND	ND	<0,1	ND	ND	0,0007	0,08	ND
A3	ND	ND	<5	ND	ND	ND	ND	ND	0,0006	0,09	ND
A4		ND		ND			ND	ND			ND

ND : non disponible

Autres analyses - Centre de tri F

MAXXAM	UNITÉS	A	B	C	Centre de tri F
% Humidité	%	-	-	-	17
HAP					
Acénaphène	mg/kg	0,1	10	100	2,7
Acénaphylène	mg/kg	0,1	10	100	0,5
Anthracène	mg/kg	0,1	10	100	5,9
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	8,9
Benzo(a)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	6,7
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	5,3
Benzo(j)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	2,8
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	3,1
Benzo(c)phénanthrène	mg/kg	0,1	1	10	1,2
Benzo(ghi)pérylène	mg/kg	0,1	1	10	3,6
Chrysène	mg/kg	0,1	1	10	9,1
Dibenz(a,h)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	0,9
Dibenzo(a,i)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	0,6
Dibenzo(a,h)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	0,2
Dibenzo(a,l)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	<0,1
7,12-Diméthylbenzanthracène	mg/kg	0,1	1	10	<0,1
Fluoranthène	mg/kg	0,1	10	100	22
Fluorène	mg/kg	0,1	10	100	3,4
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	3,9
3-Méthylcholanthrène	mg/kg	0,1	1	10	<0,1
Naphtalène	mg/kg	0,1	5	50	4,3
Phénanthrène	mg/kg	0,1	5	50	24
Pyrène	mg/kg	0,1	10	100	17
2-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	1,7
1-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	1,1
1,3-Diméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	0,7
2,3,5-Triméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	0,2

Récupération des Surrogates (%)					
D10-Anthracène	%	-	-	-	88
D12-Benzo(a)pyrène	%	-	-	-	92
D14-Terphenyl	%	-	-	-	88
D8-Acenaphthylene	%	-	-	-	88
D8-Naphtalène	%	-	-	-	90

MAXXAM	UNITÉS	A	B	C	Centre du tri F
% Humidité	%	-	-	-	17
HYDROCARBURES PÉTROLIERS					
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	mg/kg	300	700	3500	4100
Récupération des Surrogates (%)					
1-Chlorooctadécane	%	-	-	-	77

ANNEXE 3

Fiches des voies de mise en valeur

Abrasif de voirie
Agriculture
Béton recyclé
Captation (SO₂, phosphore)
Ciment
Compost
Enrobés bitumineux - chaud
Enrobés bitumineux – froid
Géopolymères
Litière
Matière de charge
Remplissage
Séquestration CO₂

ANNEXE 4

Essais d'adsorption du phosphate par des fines CRD

La recherche de matériaux réactifs novateurs pouvant retenir une grande quantité de phosphore (P) par adsorption a fait l'objet de plusieurs publications [3-10]. Parmi les matériaux étudiés, des résidus industriels disponibles à bas prix et riches en éléments réactifs face au P tels le calcium (Ca), le fer (Fe) et l'aluminium (Al), pourraient être utilisés : scories d'aciéries, cendres volantes, limailles de fer, boues rouges de bauxite, boues d'alun, etc.

Le CTTÉI a donc recueilli des échantillons de vingt-deux sous-produits différents, dont des fines CRD, et effectué différents essais d'adsorption du P en conditions expérimentales contrôlées :

- Détermination de la capacité maximale d'adsorption du P;
- Évaluation de la performance avec une concentration réelle en P;
- Évaluation de l'effet d'une matrice complexe sur la performance;
- Évaluation de l'effet du renouvellement de la matrice aqueuse sur la performance (statique vs dynamique);
- Évaluation de la réversibilité de l'absorption du P.

La méthodologie utilisée s'appuyait sur la norme *ASTM D4646 – 03 (Reapproved 2008) : Standard test method for 24-h batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments* et les paramètres expérimentaux sont présentés au Tableau 1.

TABLEAU 1 Paramètres expérimentaux

Paramètres expérimentaux	
Ratio massique S/L	1/20 → (5 g / 100 ml)
Matrice	Eau distillée
Granulométrie	1 – 2 mm
Temps de contact	24 h
Agitation (RPM)	30
# d'essais	2

Une première évaluation de la performance des sous-produits a été effectuée avec une concentration initiale en P de 250 mg/l. Les dix meilleurs sous-produits ont ensuite été sélectionnés pour évaluer leur capacité « maximale » d'adsorption du P avec une concentration initiale en P de 1 000 mg/l. Les résultats obtenus pour les Fines CRD sont présentés au Tableau 2.

TABLEAU 2 Fines CRD - résultats sous différentes concentrations

[P] initiale (mg/l)	mg P adsorbé / g de fines CRD	% Réduction	pH final
250	3,9 ± 0,2	83 ± 4	6,9 ± 0,3
1 000	11 ± 2	57 ± 10	5,8 ± 0,1

Parmi les 22 sous-produits testés avec 250 mg/l de P, les fines CRD ont présenté la neuvième meilleure performance. Ensuite, parmi les dix sous-produits testés à 1 000 mg/l, les fines CRD se classaient neuvième au niveau de leur capacité « maximale » d'adsorption du P.

Les essais précédents avaient été effectués avec des concentrations en P qui excédaient considérablement celles qui étaient attendues dans les résidences isolées, soit entre 4 et 15 mg P/l [11]. Afin de valider de façon préliminaire la performance des dix sous-produits en présence d'une concentration en P s'approchant de celles attendues dans les résidences isolées, des essais avec une concentration de 10 mg P/l ont été réalisés et les résultats obtenus sont présentés au Tableau 3.

TABLEAU 3 Fines CRD - résultats avec concentration « réelle »

[P] initiale (mg/l)	mg P adsorbé / g de fines CRD	% Réduction	pH final
10	0,199 ± 0,001	99,7 ± 0,2	10,41 ± 0,01

Parmi les 10 sous-produits testés, les fines CRD ont présenté la troisième meilleure performance où près de 100 % du P disponible en solution a été adsorbé, de sorte que la concentration finale en P était < 0,05 mg/l. Cette concentration répondait au critère de rejet des eaux usées des résidences isolées, soit ≤ 1 mg P/l [12]. Toutefois, à la fin des essais, le pH de la solution était de 10,4 indiquant que ce paramètre pourrait être problématique lors du rejet des eaux traitées.

Les essais effectués jusqu'à maintenant représentaient les réactions initiales d'adsorption/désorption du P, ainsi que de toutes autres réactions de dissolution ou de lessivage, entre les sous-produits et la matrice aqueuse riche en P et non renouvelée (mode statique). Toutefois, selon l'application, les sous-produits seraient périodiquement soumis à une nouvelle eau usée à traiter ayant une concentration en P nulle/faible (mode semi-dynamique), qui induirait les mêmes réactions de dissolution ou de lessivage des éléments réactifs face au P, et pourrait diminuer leur capacité d'adsorption du P avec le temps.

Afin d'évaluer de façon préliminaire l'effet du lessivage, par renouvellement de la matrice aqueuse, sur une possible baisse de performance des sept sous-produits, ceux-ci ont été soumis à trois lavages préalables avec agitation (ratio S/L = 1/20) où l'eau distillée sans P était renouvelée à chaque fois après décantation de la fraction liquide. Suite à ces lavages, des essais d'adsorption du P avec une concentration de 250 mg P/l ont été effectués et les résultats sont présentés au Tableau 4.

TABLEAU 4 Fines CRD - essais avec lavages préalables – 250 mg P/l

Avec lavage			Sans lavage		
mg P / g	% Réduction	pH final	mg P / g	% Réduction	pH final
2,7 ± 0,1	54 ± 2	7,32 ± 0,07	3,9 ± 0,2	83 ± 4	6,9 ± 0,3

Les fines CRD ont démontré une baisse relativement élevée du % Réduction de 35 % suite aux lavages (baisse la plus élevée des dix sous-produits) démontrant une possible contrainte à leur utilisation dans cette application.

Les eaux usées à traiter auraient une composition chimique beaucoup plus complexe que l'eau distillée qui a été utilisée lors des essais antérieurs. Ces autres composantes pourraient entrer en compétition avec le P pour les sites d'adsorption des sous-produits et diminuer leur performance [10]. Afin d'évaluer de façon préliminaire l'effet d'une matrice aqueuse complexe sur la performance des dix sous-produits, une eau provenant d'un étang aéré a été diluée cinq fois avec de l'eau potable et dopée avec une teneur finale en P de 250 mg P/l et les résultats obtenus sont présentés au Tableau 5.

TABLEAU 5 Fines CRD – essais avec matrice complexe – 250 mg P/l

Eau potable + eau d'étang aéré*			Eau distillée		
mg P / g**	% Réduction	pH final	mg P / g	% Réduction	pH final
4,08 ± 0,07	84 ± 2	7,20 ± 0,05	3,9 ± 0,2	83 ± 4	6,9 ± 0,3

* DCO ≈ 115 ppm ; Cl⁻ ≈ 37 ppm ; SO₄²⁻ ≈ 16 ppm

La matrice complexe utilisée lors de ces essais n'avait pas modifié les performances obtenues avec l'eau distillée. Ainsi, la capacité d'adsorption du P des fines CRD pourrait ne pas être influencée par la composition réelle des eaux usées à traiter.

Selon la composition des sous-produits utilisés, la réaction d'adsorption du P pourrait être réversible de sorte qu'il pourrait survenir un relargage du P à partir d'un sous-produit dont la capacité maximale a été atteinte ou en voie de l'être [10]. Afin d'évaluer de façon préliminaire la réversibilité de l'adsorption du P des dix sous-produits récupérés suite aux essais d'adsorption à 1 000 mg P/l, ceux-ci ont été séchés et soumis en duplicata aux conditions expérimentales modifiées du Tableau 1 où la matrice aqueuse utilisée était de l'eau distillée sans P pour maximiser le relargage (Tableau 6).

TABLEAU 6 Fines CRD - réversibilité de l'adsorption du P

[P] relargué (mg/l)	% P désorbé	pH final
52 ± 6	12 ± 1	7,5 ± 0,3

Les fines CRD ont relargué une quantité non négligeable de P avec les conditions expérimentales utilisées. Ainsi, à saturation de leur capacité d'adsorption du P, elles seraient susceptibles de relarguer du P lors du traitement subséquent d'eaux usées ayant une concentration en P inférieure.

En conclusion, les fines CRD ont démontré un potentiel intéressant d'adsorption du P sous différentes conditions expérimentales. Toutefois, le phénomène de lessivage d'éléments réactifs face au P, le relargage du P, ainsi que le pH final, sont de possibles contraintes à leur utilisation dans cette application. Un conditionnement visant à séparer les différents constituants des fines CRD pourrait être une approche à explorer pour améliorer la performance des fines CRD. Il est à noter que les résultats obtenus provenaient d'essais réalisés en mode statique et avec des conditions expérimentales qui différeront vraisemblablement de celles qui auront lieu dans l'application finale. Ainsi, seuls des essais en conditions réelles, ou simulant le plus fidèlement possible ces conditions réelles, permettront d'évaluer adéquatement la performance de captation du P des fines CRD.

Méthodologie d'adsorption et d'analyse du P

Adsorption P

- Récupération de la fraction granulométrique 1 – 2 mm par tamisage;
- Séchage à 110 °C des échantillons tamisés suivi d'entreposage au dessiccateur;
- Préparation de la solution d'adsorption du P à partir de KH₂PO₄ et mesure du pH;
- Préparation du ratio S/L requis dans un contenant HDPE 125 ml;
- Agitation (≈ 30 RPM) des mélanges S/L sur une période de 24 h.



FIGURE 1 Roue d'agitation

Filtration sous-vide sur filtre en fibre de verre 0,7 μm .

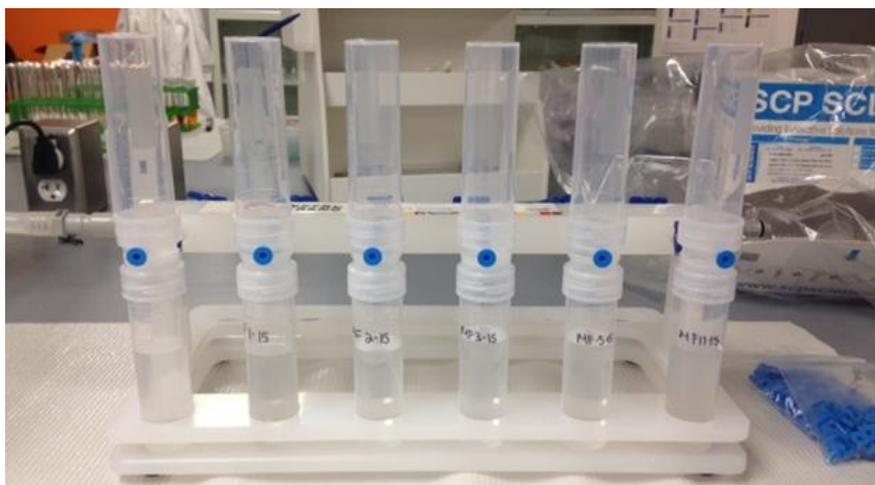


FIGURE 2 Système de filtration sous-vide

Analyse P Total par colorimétrie

Digestion des échantillons (30 min; 120 °C) en présence d'acide sulfurique et de persulfate de potassium;



FIGURE 3 Bloc de digestion

Après refroidissement, ajout de réactifs de coloration (molybdate d'ammonium, acide sulfurique et tartrate d'antimoine/potassium) suivi d'un agent de formation de la coloration (acide ascorbique);

Avec un spectrophotomètre UV-Visible, lecture de l'absorbance des échantillons à 714 nm.



FIGURE 4 Spectrophotomètre UV-Vis

Différentes courbes d'étalonnage de l'absorbance en fonction de la concentration en P ont été effectuées au cours des essais et les coefficients de corrélation obtenus étaient supérieurs à 0,9980.

De plus, des contrôles de qualité ont été réalisés au cours des essais avec des étalons certifiés de 1 mg P/l et de 3 mg PO_4^{3-} /l et l'exactitude des valeurs obtenues oscillait entre 94 % et 102 %.

RÉFÉRENCES

1. de-Bashan, L.E. and Bashan, Y. *Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997-2003)*. Water Research, 2004, vol. 38(19), 4222-4246.
2. Cucarella, V. and Renman, G. *Phosphorus sorption capacity of filter materials used for on-site wastewater treatment determined in batch experiments—a comparative study*. Journal of Environmental Quality, 2009, vol. 38, 381–392.
3. Ballantine, D.J. and Tanner, C.C. *Substrate and filter materials to enhance phosphorus removal in constructed wetlands treating diffuse farm runoff: a review*. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2010, vol. 53(1), 71-95.
4. Westholm, L.J. *The use of blast furnace slag for removal of phosphorus from wastewater in sweden—A Review*. Water, 2010, vol. 2(4), 826-837.
5. Bhatnagar, A., Vilar, V.J.P., Botelho, C.M.S. and Boaventura, R.A.R. *A review of the use of red mud as adsorbent for the removal of toxic pollutants from water and wastewater*. Environmental Technology, 2011, vol. 32, 231–249.
6. Vohla, C., Kõiv, M., Bavorb, H.J., Chazarenc, F. and Mandera, Ü. *Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review*. Ecological Engineering, 2011, vol. 37(1), 70-89.
7. Klimeski, A., Chardon, W.J., Turtola, E. and Uusitalo, R. *Potential and limitations of phosphate retention media in water protection: a process-based review of laboratory and field-scale tests*. Agriculture and Food Science, 2012, vol. 21, 206–223.
8. Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. and Bolan, N.S. *Removal and recovery of phosphate from water using sorption*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2014, vol. 44(8), 847-907.
9. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/Chap8.pdf>
10. http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R22.HTM