Réutilisation des abrasifs routiers
Enjeux et perspectives

Présenté par

Said Mokhbi ing., M.ing.
Associé de recherche, candidat au doctorat
Département de Génie de la construction
École de Technologie Supérieure

Gabriel Assaf ing., Ph.D.
Professeur titulaire
Département de Génie de la construction
École de Technologie Supérieure

Partenaires : MTQ, D.T de l'Outaouais
Ville de Granby

Plan de la présentation

1. Introduction – contexte
   - Objectifs
   - Enjeux
   - Méthodologie

1. Phase expérimentale
   - Lavage et décontamination en milieu industriel
   - Mécanismes et évolution de la contamination
   - Évolution des caractéristiques intrinsèques

2. Perspectives de réutilisation

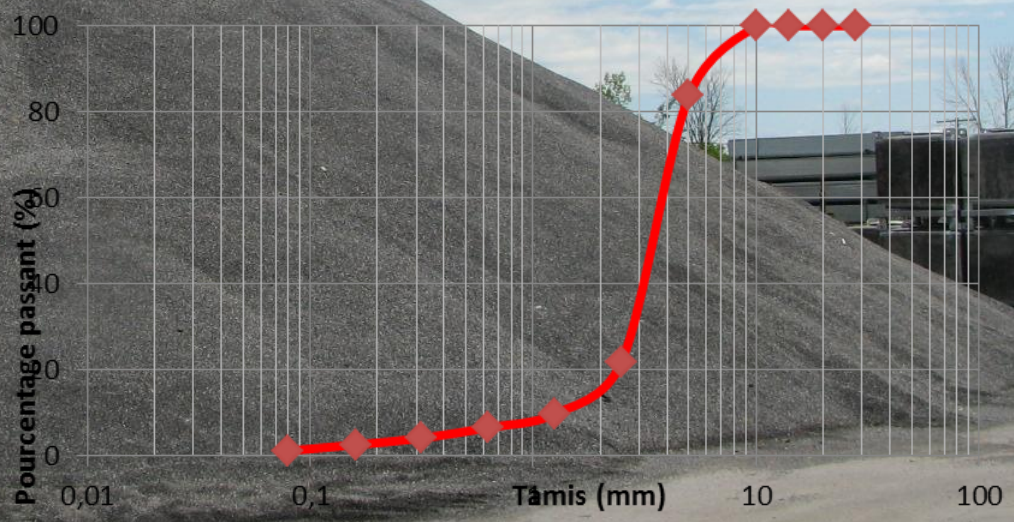
Conclusion

Introduction

Cycle de vie des abrasifs

- Fabrication
- Stockage
- Épandage
- Balayage
- Enfouissement

Définition BNQ: ***« granulat composé de particules ou fragments, concassés ou non, de roc, de pierre, de gravier, de sable ou de certains sous-produits utilisés en viabilité hivernale »***



stock d'abrasifs neufs D.T de l'Outaouais, avril 2012

Au Québec, quelques chiffres

- Réseau routier: 285 000 km
  103 000 km municipalités
  30 000 km MTQ
- Niveaux de service (dégagée, partiellement dégagée ou chaussée sur fond de neige durcie)
- Taux d'application des abrasifs 350 kg/km à 700 kg/km
- 873 695 tonnes en 2008-2009 d'abrasifs épandues sur le réseau du MTQ
- 994 302 tonnes en 2012-2013
- Plusieurs initiatives municipales

Contexte

Constat

- Balayage, enfouissement;
- **Volume en augmentation;**
- **Capacités de stockage en constante diminution;**
- **Raréfaction des sites d'enfouissement;**
- Coûts associés.

Et pourtant ,

- Ne sont ni des matières dangereuses, ni des sols contaminés;
- Ce sont des pierres issues d'une roche et utilisées une seule fois.

Objectifs

L’objectif principal est d’évaluer la possibilité de réutiliser les matériaux abrasifs contaminés.

Les deux principales contraintes à satisfaire pour atteindre cet objectif:

- La solution doit être pratique et faisable en vraie grandeur;
- La solution doit être rentable et d’un moindre coût.

Enjeux

- Augmenter la durée de vie des matériaux granulaires abrasifs par leur réutilisation;
- Réduire la production de nouveaux matériaux et ainsi préserver les ressources naturelles non renouvelables;
- Réduire les zones d’enfouissement et les coûts associés.

Méthodologie

- Échantillonnage (protocole, sites Gatineau et Granby)

- État neuf
- État brut + fractionnement
- Nettoyage par lavage et tamisage

Caractérisation chimique et physique

- Classification
- Perspectives de réutilisation

Hydrocyclonneur

- But: tamiser les résidus, les laver, les détacher des déchets organiques et leur enlever les fines.
- Technologie : principe d’une alimentation tangentielle en créant un vortex.
- Récupération des éléments grossiers des matériaux et des particules fines < 63 µm.

Résidus de balayage entreposés au niveau de site de lavage, Bromont

Opération de tamisage et lavage à l’hydrocycloneur, Bromont

Abrasifs récupérés après lavage, tamisage et séchage, Bromont

Normes et règlements utilisés

- *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles;*
- *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés;*
- *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles;*
- *Lignes directrices relatives à la gestion de béton, de brique et d'asphalte issus de travaux de construction et de démolition et des résidus du secteur de la pierre de taille;*
- *Lignes directrices sur la gestion des matières résiduelles et des sols contaminés traités par stabilisation et solidification;*
- Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction;
- Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementales – échantillonnage des sols;
- Normes BNQ (NQ 2560-114-I/2002, NQ 2560-600);
- Normes MTQ.

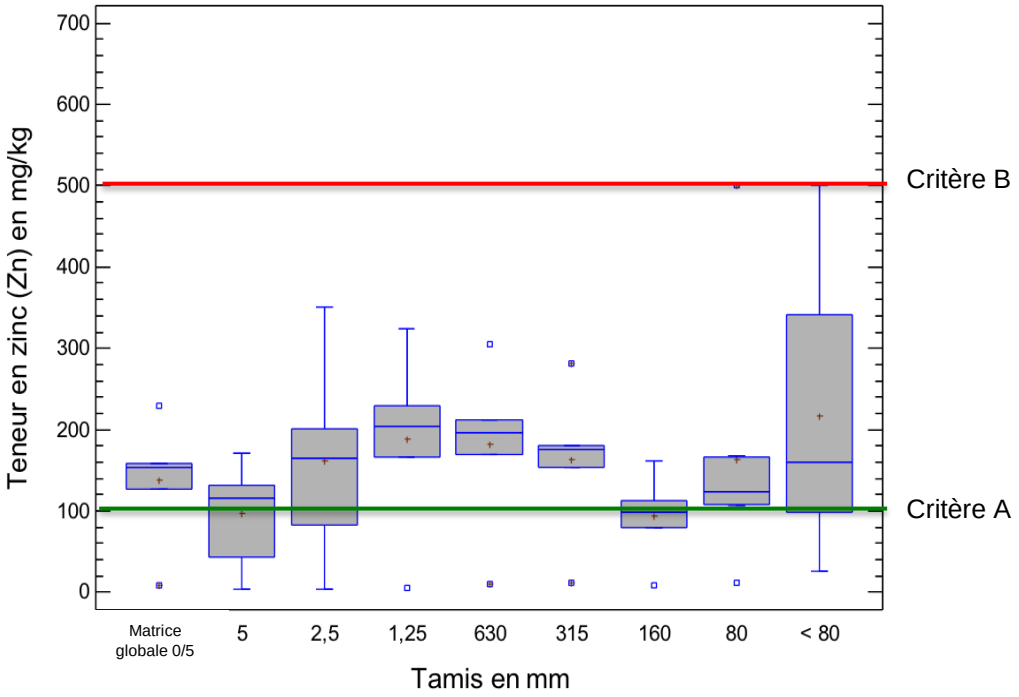
Caractérisation physique et chimique des abrasifs

Caractéristiques des abrasifs	Type d'essais	Paramètres analysés
Physiques	Granulométrie	Grosseur et pourcentage des grains
	Colorimétrie	Estimation des matières organiques
	Micro-Deval Friabilité Coefficient d'écoulement	Résistance aux chocs et à l'usure
Chimiques	Hydrocarbures pétroliers	Teneur en C_{10}-C_{50}
	Métaux par ICP	Teneur en métaux lourds
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques	Teneur en HAP
	Essais de lixiviation	Lixiviation à l'eau Lixiviation pluies acides Lixiviation espèces inorganiques

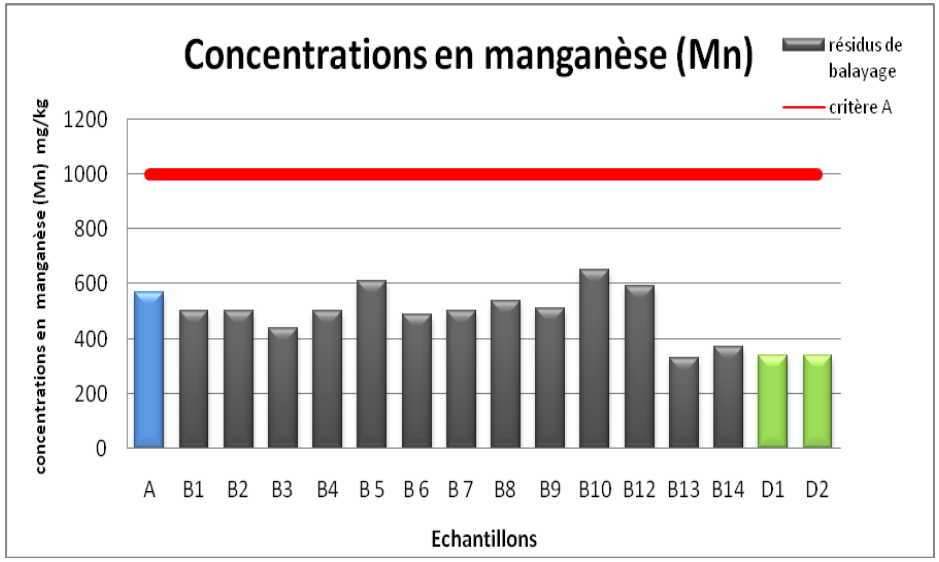
Types d'essais nécessaires lors d'une caractérisation

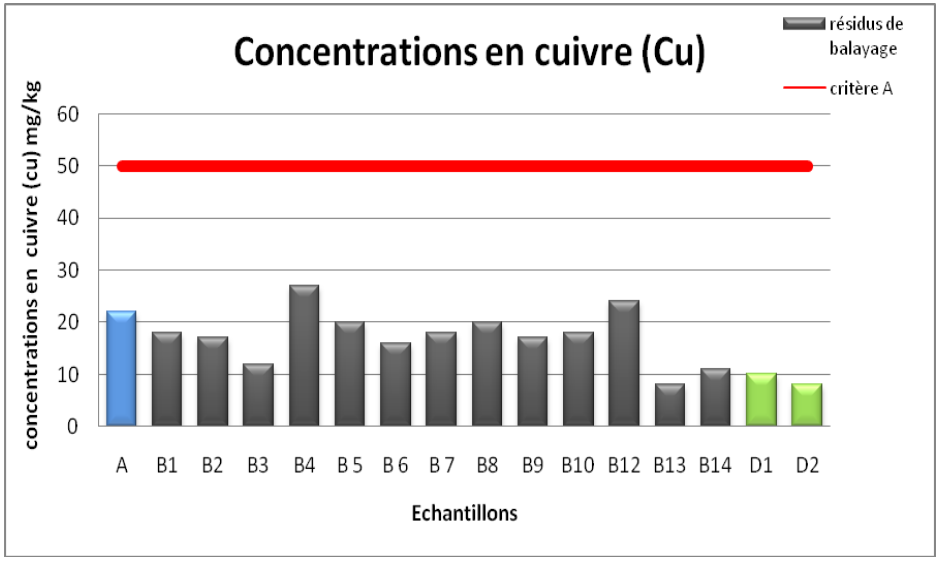
Résultats expérimentaux

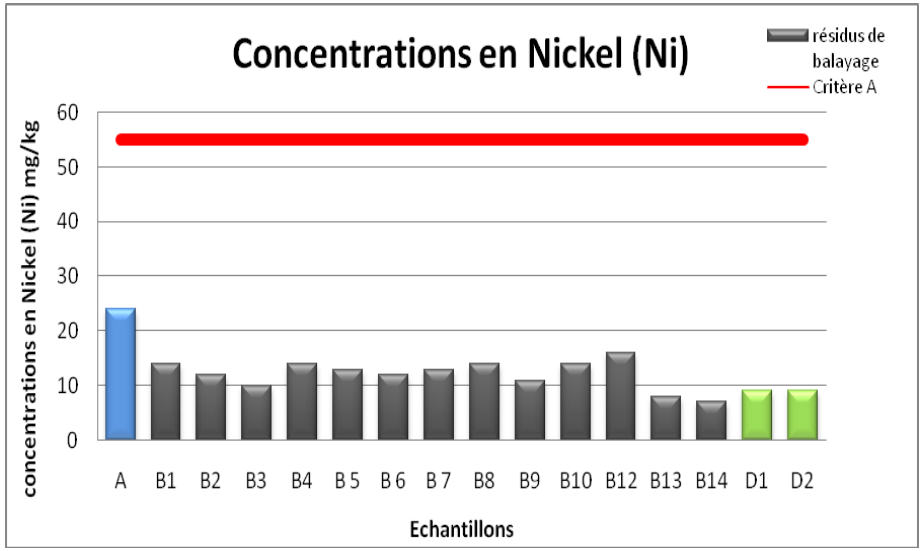
Répartition de la contamination

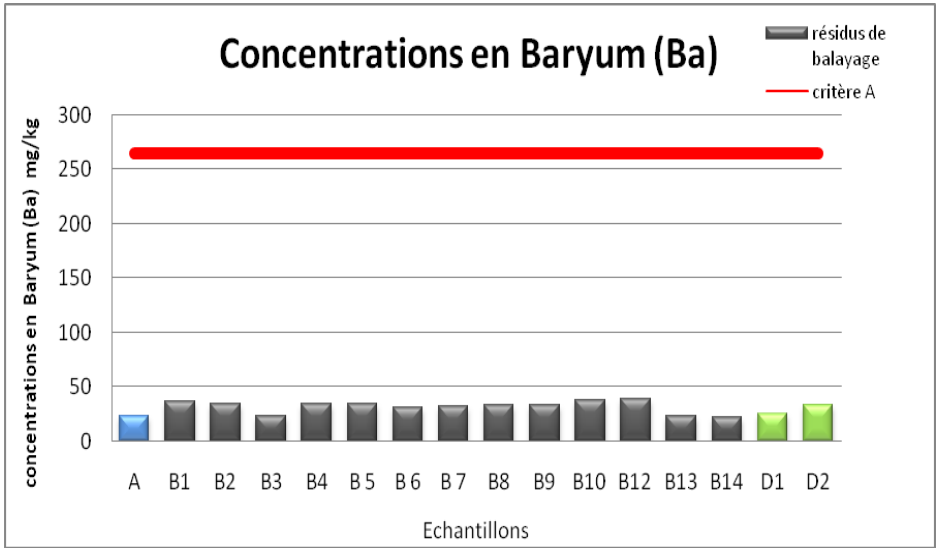


Concentrations en zinc (Zn) et en cuivre (Cu) des échantillons de Gatineau



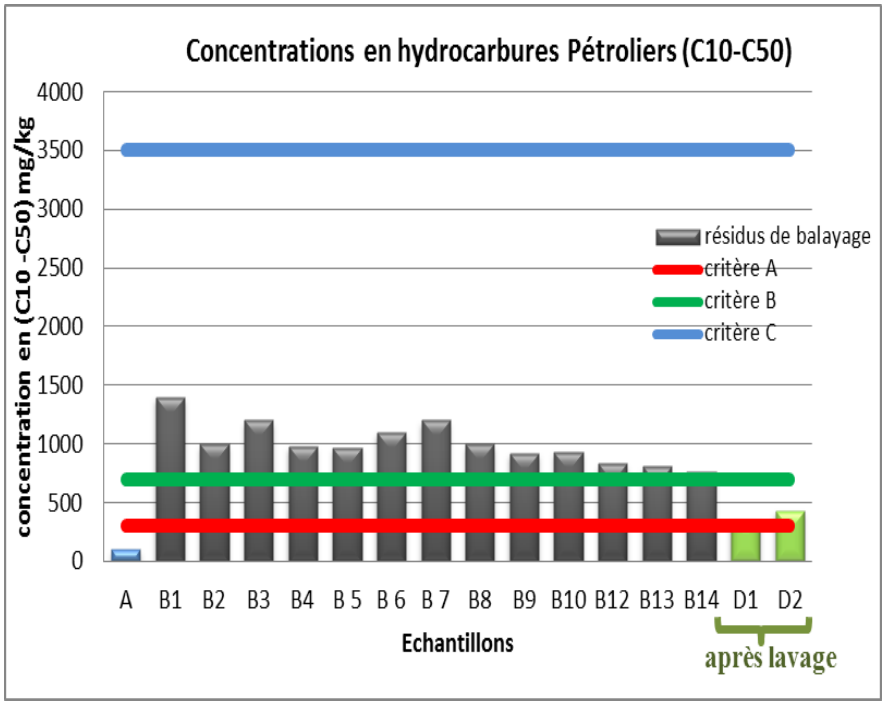


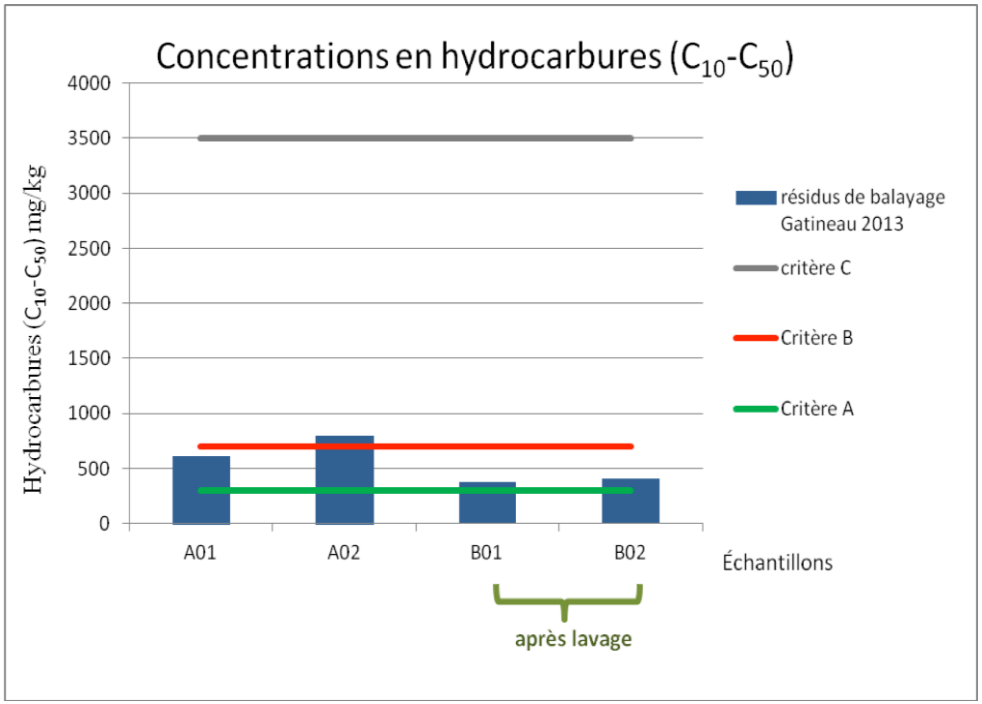




Taux de concentration des échantillons de Granby en métaux

Tirées de Mokhbi et Assaf, 2014





Taux de concentration des échantillons de Granby et de Gatineau en hydrocarbures C_{10}-C_{50}

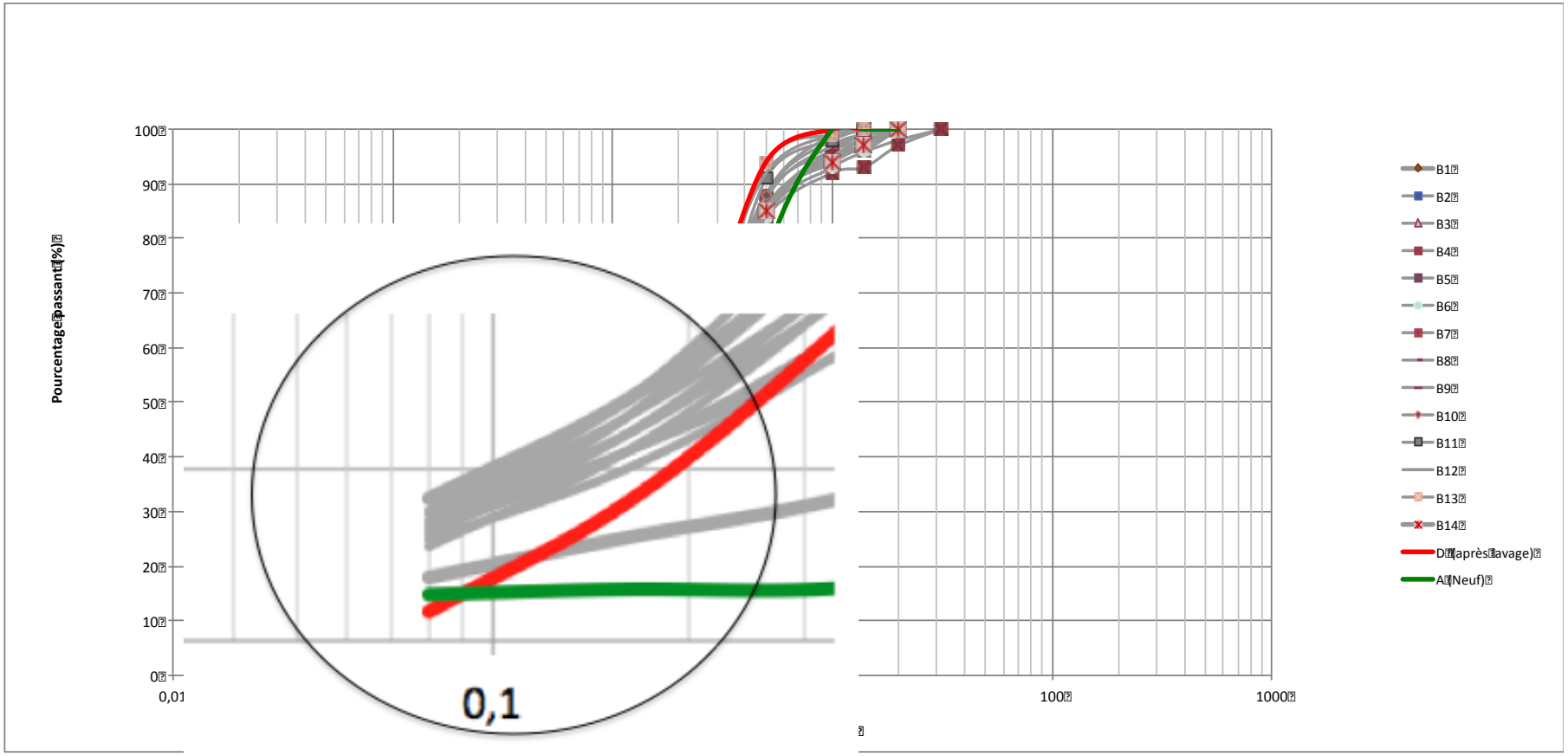
Tirées de Mokhbi et Assaf, 2014

Essais de lixiviation

- Trois essais sont réalisés pour déterminer la concentration des métaux susceptibles d'être lixiviés en contact avec l'eau (CTEU 9) et les pluies acides (SPLP, EPA 1312). L'essai (TCLP, EPA 1311) permet quant à lui, d'évaluer la mobilité des espèces inorganiques.

- L'analyse des résultats montre que les concentrations en métaux des lixiviats sont toutes en dessous des concentrations maximales d'un contaminant dans le lixiviat d'une matière solide, établies par le « *Règlement sur les matières dangereuses* » du MDDELCC.

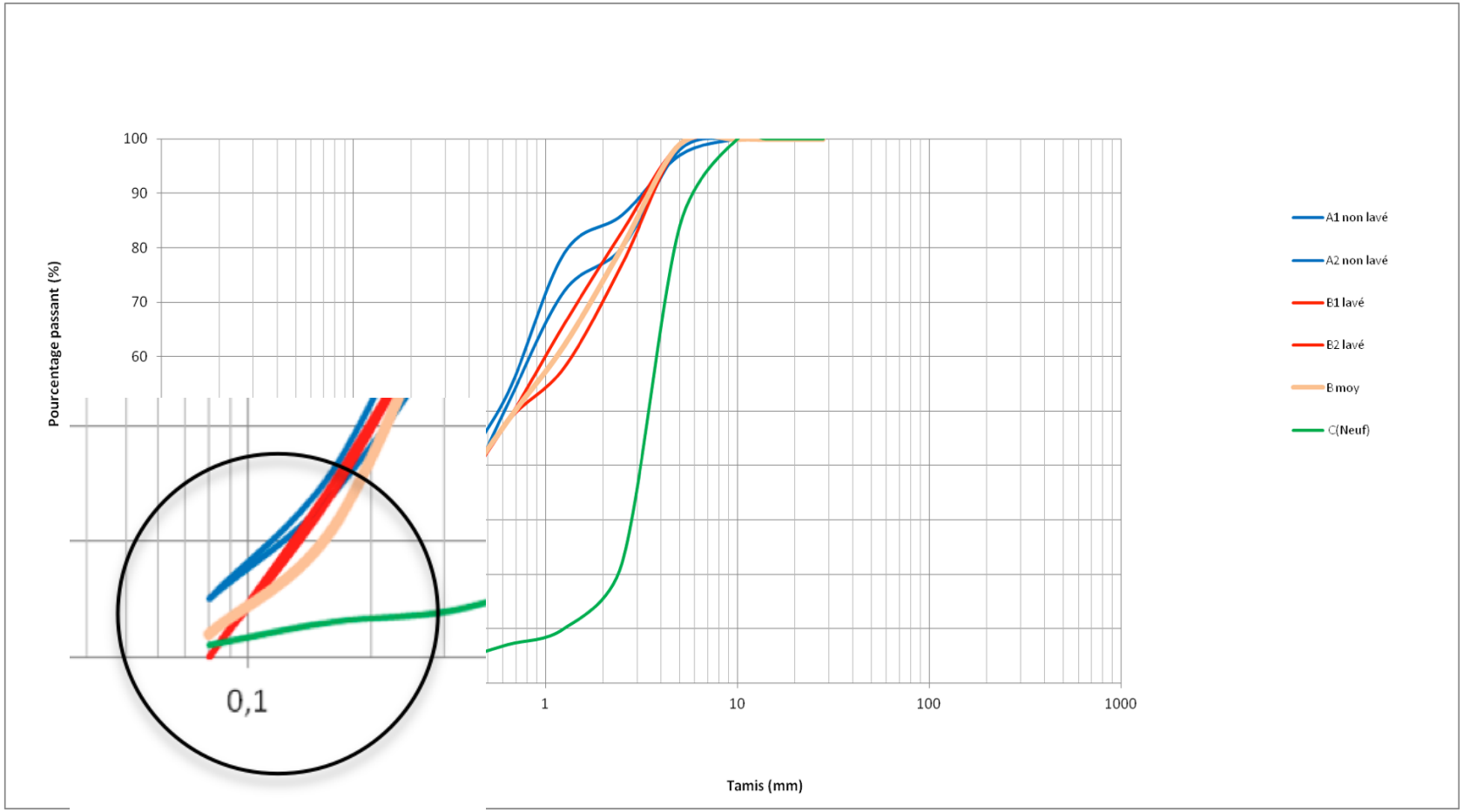
Comportement physique



Évolution de la granulométrie des abrasifs de Granby

Tirée de Mokhbi et Assaf, 2014

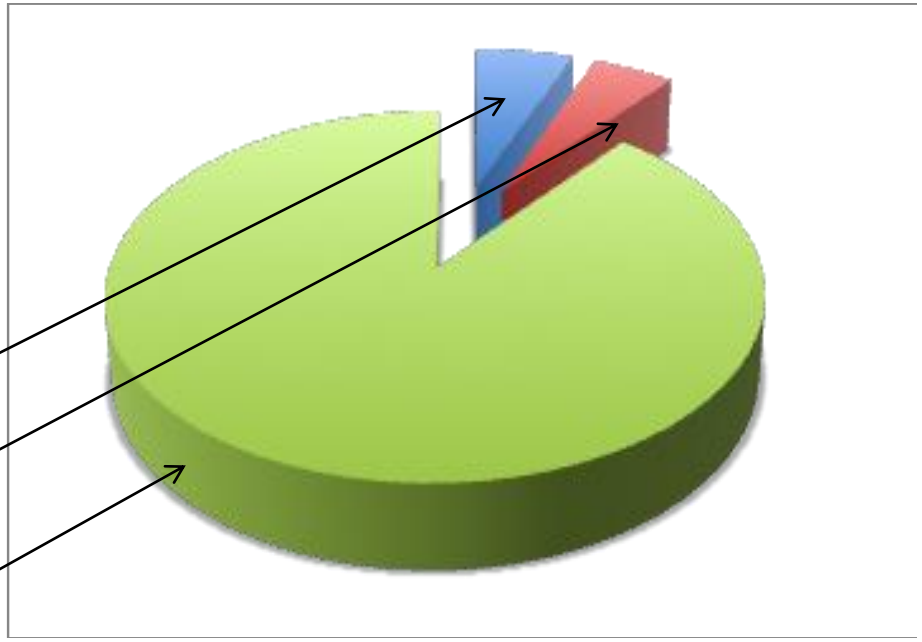
Comportement physique



Évolution de la granulométrie des abrasifs de Gatineau

Tirée de Mokhbi et Assaf, 2014

Quantités recueillies après lavage	t	%
Quantités considérées avant lavage	98	
Tamisage et lavage des résidus considérés	88,640	100
Déchets grossiers recueillis	5,28	5,95
Fines recueillies dans les bassins de sédimentation	4,36	4,92
Abrasifs recueillis après hydrocyclonage	79	89,13



Quantités récupérées à l'issue du tamisage et du lavage des échantillons de Gatineau

Tiré de Mokhbi et Assaf, 2014

Évolution des caractéristiques physiques et chimiques

Échantillons de Gatineau

Caractérisation	Paramètres	Abrasifs neufs	Résidus	
			Résidus non lavés	Résidus lavés
Chimie	HP (C_{10}-C_{50})		B-C	A-B
	HAP		< A	< A
	Métaux - prédominance		A-B (Zn)	A-B (Pb, Zn)
	Lixiviation		< A	
	Colorimétrie	1	3	2
	Catégorie [1]		3	3
Physique	Granulométrie			Fuseau AB-10
	Micro Deval	11,32	18,65	17,78
	Friabilité	33,13	25,77	24,97
	Coefficient d'écoulement	97,3 ≥ 80	67,98 < 80	89,19 ≥ 80
	Catégorie [2] granulats fins	1	1	1

Échantillons de Granby

Caractérisation	Paramètres	Abrasifs neufs	Résidus	
			Résidus non lavés	Résidus lavés
Chimie	HP (C_{10}-C_{50})		A-B	A-B
	HAP		A-B	A-B
	Métaux - prédominance		< A	< A
	Lixiviation		< A	
	Colorimétrie	1	3	3
	Catégorie [1]			3
Physique	Granulométrie			Fuseau AB-10
	Micro Deval		9-19	14-17
	Friabilité	20		24-27
	Coefficient d'écoulement	103 ≥ 80	79-89	89
	Catégorie [2] granulats fins	1	1	1

1. selon les *Lignes directrices relatives à la gestion de béton, de brique, d'asphalte et de pierre de taille*
2. selon norme NQ 2560 – 114/2002- Travaux de génie civil- granulat- BNQ

Classification

Deux classifications doivent être entreprises :

chimique et physique

Classification en fonction du degré de contamination

Contaminants	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Hors catégorie
Inorganiques (annexes 3 et 4)	< critère A	≥ critère A et < critère C, tout en respectant les valeurs maximales fixées concernant la lixiviation	< critère C, tout en respectant les valeurs maximales fixées concernant la lixiviation	Asphalte amiante mis sous forme d'enrobé lors de la scarification	< critère C, ne respectant les valeurs maximales fixées concernant la lixiviation ou ≥ critère C ou béton et asphalte contenant de l'amiante (sauf la catégorie 4)
Hydrocarbures pétroliers C_{10} à C_{50}	< 300 mg/kg	< 300 mg/kg	≥ 300 mg/kg et < 3 500 mg/kg et asphalte[20]		≥ 3 500 mg/kg ou béton taché ou assimilé à matière dangereuse
Organiques (volatils et semi-volatils)	< limite de quantification[21]	< limite de quantification[22]	< critère C pour ceux présents avec C_{10} à C_{50} et < limite de quantification pour les autres		≥ critère C pour ceux présents avec C_{10} à C_{50} ou ≥ limite de quantification pour les autres

Source MDDEP, 2009

Lignes directrices relatives à la gestion de béton, de brique et d'asphalte issus des travaux de construction et de démolition et des résidus du secteur de la pierre de taille

Classification en fonction des caractéristiques intrinsèques

Caractéristique intrinsèque	Méthode d'essais	Catégories de granulats fins		
		1	2	3
Micro Deval (MD), %	LC 21-101	≤ 30	≤ 35	≤ 35
Friabilité	LC 21-080	≤ 40	≤ 40	s.o
Note – La mention s.o signifie qu'il n'y a pas d'exigences pour cette caractéristique				

Granulats fins	Méthode d'essais	Exigence
Caractéristiques intrinsèque 1		Catégories 1, 2 et 3
Caractéristiques complémentaires : · Teneur en eau, %	LC 21 – 201	≤5
· selon Tableau 3.2 : Catégories de gros granulats selon leurs caractéristiques intrinsèques de résistance à l'usure et aux chocs · l'une ou l'autre des catégories 1, 2 ou 3 peut être utilisée et satisfait aux exigences de la norme NQ 2560-114-I/2002		

Tirés de Norme – NQ 2560 – 114/2002- Travaux de génie civil- granulat- BNQ

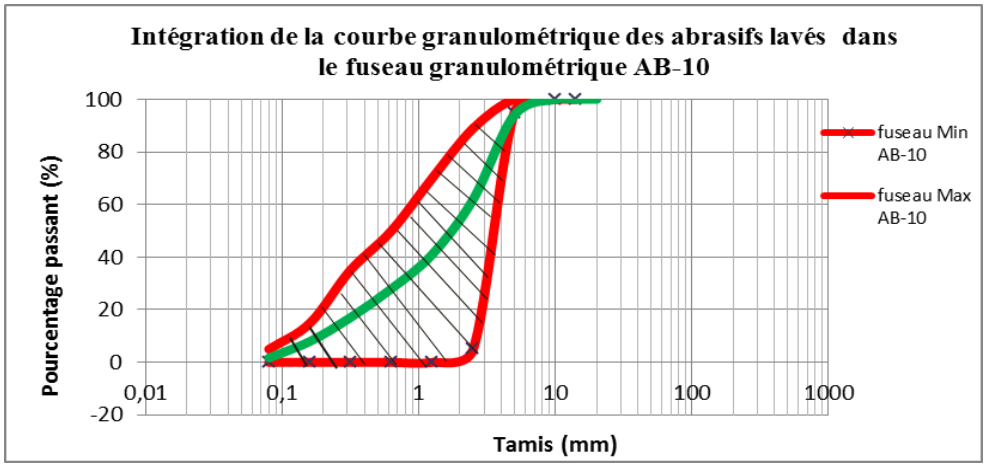
Perspectives de réutilisation

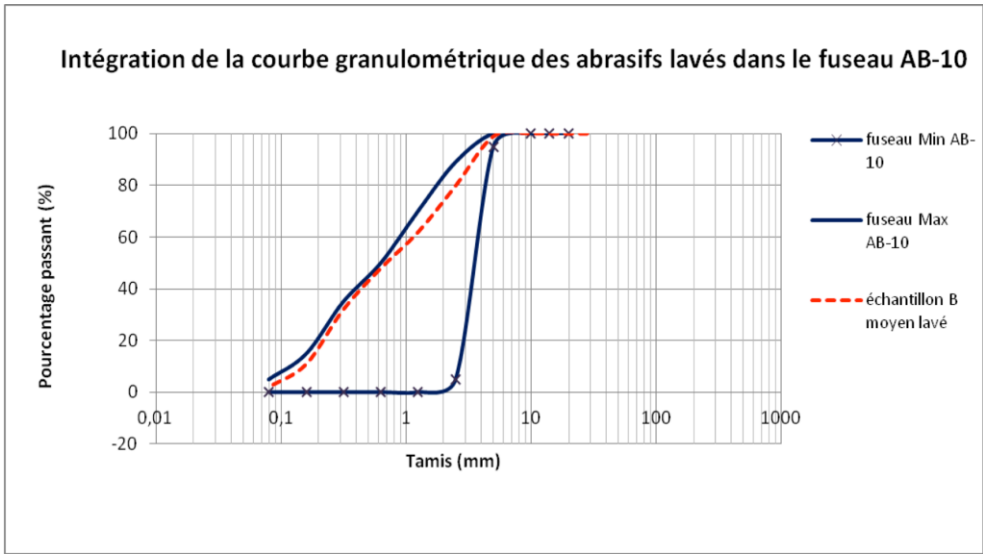
- Réutilisation en tant qu'abrasifs pour une seconde fois:

  - Il ressort que la réutilisation comme abrasifs routiers pour un second épisode hivernal est fortement possible.

  - À ce titre, Il faudra coordonner la ré-application des abrasifs avec la direction territoriale du MDDELCC pour obtenir les autorisations nécessaires.

- Intégration comme substituts de la fraction 0/5 mm dans une formulation d'enrobé





Intégration des courbes granulométriques des abrasifs de Granby et de Gatineau

Tirées de Mokhbi et Assaf, 2014

Perspectives de réutilisation

Intégration comme substituts de la fraction 0/5 mm dans une formulation d'enrobé

Utilisations	Catégories de matériaux			
	1	2	3	4
Construction sur un terrain à vocation résidentielle ou agricole, un établissement d'enseignement primaire ou secondaire, un centre de la petite enfance ou une garderie	oui			
Paillis, enrochement, aménagement paysager – brique, croûtes et retailles de la pierre de taille seulement	oui			
Remblayage d'une excavation lors de démantèlement	oui	*		
Restauration de carrière et sablière à partir de résidus du secteur de la pierre de taille	oui	oui		
Construction sur un terrain à vocation institutionnelle, commerciale et industrielle incluant les terrains municipaux	oui	oui	*	
Aménagement récréotouristique (piste cyclable, parc)	oui	oui	*	
Chemin d'accès[25], buttes antibruit et écran visuel	oui	oui	*	
Construction d'un dépôt à neige	oui	oui	*	
Matériel de recouvrement final de LEDCD, LES ou LET[26]	oui	oui	*	
Fabrication de béton[27]	oui	oui		
Enrobés à chaud[28]	oui	oui	oui	
Enrobés à froid	oui	oui	oui	
Stationnement et aire de stockage sur un terrain à vocation résidentielle ou agricole, un établissement d'enseignement primaire ou secondaire, un centre de la petite enfance ou une garderie[29]	oui	oui	oui	
Stationnement, aire de stockage sur un terrain à vocation institutionnelle, commerciale et industrielle incluant les terrains municipaux	oui	oui	oui	
Matériel de recouvrement journalier de LET[30]	oui	oui	oui	

quelques domaines de réutilisation possibles

Tableau d'utilisation en fonction des catégories de matériaux

Source MDDEP, 2009
Lignes directrices relatives à la gestion de béton, de brique et d'asphalte issus des travaux de construction et de démolition et des résidus du secteur de la pierre de taille

Exemple d’une formulation d’un EB-10S

Tamis (mm)	5-10 Raycar 35%	0-5 Pierre abrasive 60 %	Sable	Filler 5%	Fuseau EB-10S	Combiné ÉTS
14	100	100	100	100	100	100
10	93,5	100	100	100	92-100	98
5	8,2	94	99	100	50-65	64
2.5	1,9	62	96	100	27-50	43
1.25	1,4	41	93	100	18-42	30
0.63	1,4	28	87	100	12-35	22
0.315	1,3	17	47	100	8-26	16
0.16	1,3	8	8	98	5-17	10
0.08	1,2	1,7	1	86	4-10	6

Proportions de granulats utilisés pour la confection des enrobés de Granby

Tiré de Mokhbi et Assaf, 2014

Exemple d’une formulation d’un EB-10S

	Norme MTQ	Mélange 1		Mélange 2		Normes et méthode d’essai
Nombre minimal de granulats	2	3	conforme	3	conforme	4201
Liant (% min)	4,8	4,8	conforme	5,2	conforme	4201
Fluage (mm)	2,0-4,0	3,69	conforme	4,51	non conforme	LC 26-060
Stabilité (N) (min)	9 000	14 619	conforme	14 133	conforme	LC 26-060
Densité maximale		2,561		2,534		LC 26-045
Densité brute		2,437		2,348		LC 26-040
Vides (%)	2,0-5,0	4,80	conforme	7,34	non conforme	LC 26-320
VAM comblé (%max)	85,0	73,40	conforme	62,16	conforme	LC 26-900
Compacité (%min)	93,0	95,2	conforme	92,6	non conforme	LC 26-320

Caractéristiques des enrobés confectionnés avec 60 % d’abrasifs de Granby

Tiré de Mokhbi et Assaf, 2014

Évaluation économique préliminaire

Étapes	Description	Quantités (t)	Coût unitaire $	Coût total $
Achat d'abrasifs	Abrasifs neufs		16,25	
Enfouissement	Enfouissement - coûts directs		30	
	Caractérisation avant enfouissement	n échantillons	405	
	Coûts indirects- impacts environnementaux			
Tamisage et lavage	Tamisage et lavage des résidus	98	3	338
	Caractérisation des matériaux lavés	2 échantillons	405	810
	Coût du transport au site de lavage	98	9,46	927
	Coût total du nettoyage		21,16	2 074

Quantités et coûts associés aux opérations de lavage et d'enfouissement des abrasifs de Gatineau

Tiré de Mokhbi et Assaf, 2014

Conclusion

- Opération réaliste et réalisable en vraie grandeur;
- Matériaux contaminés mais potentiellement réutilisables au même titre que l'asphalte et le béton;
- Considérer les abrasifs récupérés, lavés et tamisés, comme des granulats ayant leurs propres caractéristiques;
- Répond clairement à l'esprit de la « *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles »,* notamment la stratégie des « 3RV-E ».

Merci pour votre attention