

REVUE DE LA DOCUMENTATION SUR LES TECHNOLOGIES DE GESTION DES SOLS  
CONTAMINÉS DANS LE CONTEXTE QUÉBÉCOIS

Rapport no R1793

Rédigé pour Gestion 3LB

Par

Ikbel Mouedhen et Guy Mercier

**Institut National de la Recherche Scientifique**

**Centre Eau Terre et Environnement**

**490 rue de la Couronne Québec, QC, G1K 9A9**

**Mai 2018**

© INRS, Centre - Eau Terre Environnement, 2018  
Tous droits réservés

ISBN : 978-2-89146-912-8 (version électronique)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018  
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2018

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Marché des terrains – contexte mondial</b> .....	<b>4</b>
1.1	Sols contaminés dans le monde, aspects législatifs et financiers .....	4
<b>2</b>	<b>Aperçu sur les contaminants des sols</b> .....	<b>11</b>
2.1	Contaminants organiques .....	11
2.2	Contaminants inorganiques .....	13
<b>3</b>	<b>Marché de gestion des terrains contaminés au Québec</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>23</b>
<b>Annexe 1</b>	<b>Coûts estimatifs de décontamination des sols par région- Cas de l'Europe de l'ouest (Prokop <i>et al.</i>, 2000)</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe 2</b>	<b>Exemple d'activités internationales d'entreprises de traitement des sols</b> .....	<b>32</b>
<b>ANNEXE 3</b>	<b>Liste des centres régionaux de traitement des sols contaminés autorisés au Québec pour usage public</b> .....	<b>33</b>

## Liste des abréviations

BPC	Biphényles polychlorés
BTEX	Benzènes, toluènes, éthylbenzènes, xylènes
EPA	Environmental protection agency
HAM	Hydrocarbures aromatiques monocycliques
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
INRS-ETE	Institut national de la recherche scientifique-Eau, terre et environnement
IRBV	Institut de recherche en biologie végétale
MDDLECC	Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques
NPL	National priority list

## 1 Marché des terrains – contexte mondial

### 1.1 Sols contaminés dans le monde, aspects législatifs et financiers

Les terrains contaminés sont un danger potentiel pour l'écosystème vivant et la santé humaine. La pollution des sols dans les pays industrialisés fut reconnue à partir de 1970 suite aux catastrophes du Love Canal et de Woburn aux États-Unis, de Lekkerkerk aux Pays-Bas et de Lasalle Coke au Canada (Lavallée, 2006). L'ampleur de la contamination en termes de volumes exacts de sols pollués est difficile à quantifier. Selon des données de l'*Environmental Protection Agency* (EPA), le nombre estimatif des sites potentiellement contaminés aux États-Unis dépasse les 530 000 sites (EPA, 2018a). En Europe, l'agence européenne pour l'environnement a reporté un chiffre estimatif de 2,5 millions de sites potentiellement pollués. Au Canada 20 000 à 30 000 sites sont en mesure de révéler la présence d'une pollution (EAA, 2018, Sousa, 2001). Les sites et les sols pollués occupent 3,1 % du marché global de l'environnement en France (MEF, 2010). Ce dernier a dépassé les 700 milliards de dollars selon une étude effectuée par l'*Environmental Business International* (Gouvernement-Canada, 2000). En 2004, le marché global estimé dans le domaine de l'environnement était de 240 milliards de dollars aux États-Unis, de 180 milliards de dollars à l'Europe de l'ouest et de 16,5 milliards de dollars au Canada (EBI, 2004). En 2001, les services de décontamination présentaient 10,5 % du marché total mondial des services environnementaux ; soit 10,5 % des 279 milliards de dollars. Dans le cas spécifique des sols pollués, le premier stimulus de l'expansion et de l'accroissement des services de remédiation dans le monde est la mise en place de lois et outils juridiques exigeant une gestion appropriée des sites contaminés et qui assigne les responsabilités quant aux coûts de la remédiation (politique du pollueur-payeur aux États-Unis, en Europe et au Canada).

Les États-Unis détiennent les plus grands marchés de décontamination et de services de protection de l'environnement. Avec l'Europe de l'Ouest, les deux entités sont les plus grands exportateurs des services de l'environnement.

Aux États-Unis et dans les différents pays fédérés, les objectifs en termes de décontamination des sols sont soumis aux directives de la loi fédérale (USITC, 2004). Le *Superfund* (un surnom donné au *Comprehensive Environmental Response and Liabilities Act*) est le principal outil

d'intervention de l'état fédéral pour évaluer l'état d'un terrain et la mise en place de stratégie de décontamination et de réutilisation des sites contaminés. Mis en place en 1980, le *Superfund* autorise l'EPA à définir les différentes parties responsables de la pollution du sol et les obliger à payer les charges de décontamination. Des interventions urgentes sont prises lorsqu'un site pollué est classé à risque immédiat. Sinon, celui-ci est répertorié par ordre de priorité d'intervention dans la *National Priority List* (NPL) (EPA, 2018b, EPA, 2018d, Hobeika, 2010). À l'heure actuelle, 1 341 sites pollués sont déclarés aux États-Unis et existent dans la NPL (EPA, 2018c). La majorité des sites présentent une contamination mixte (présence de contaminants métalliques (Plomb, cuivre, zinc, nickel, cadmium, mercure etc... ou métalloïdes (arsenic, antimoine) et de composés organiques toxiques (> 50 %). Les contaminants les plus fréquents sont les composés organiques volatils suivis des métaux (arsenic, chrome et plomb) et des composés organiques semi-volatils (EPA, 2004). Le fond du *Superfund* est alimenté par les appropriations fédérales d'environ 1,2 milliards de dollars.an<sup>-1</sup> (Hobeika, 2010). Dans un cadre de développement économique, l'*EPA's Brownsfield Program* a été établi permettant de s'intéresser aux friches industrielles estimés à 450 000 friches. La loi *Brownfields*, promulguée en 2002, permet l'attribution d'un fonds fédéral annuel de 200 millions de dollars.an<sup>-1</sup> afin de contribuer à décontaminer ces terres, rafraîchir leur potentiel commercial et créer de nouvelles sources d'emplois (EPA, 2017). Selon l'USEPA, 6 à 8 milliards de dollars.an<sup>-1</sup> sont requis pour réhabiliter les sites problématiques inventoriés aux États-Unis, nécessitant ainsi 30 à 35 ans de travail (EPA, 2004).

Au niveau de l'union européenne, il n'existe aucun cadre juridique général qui cible directement la problématique des sols pollués dans les pays membres. Comme le Canada, ces derniers disposent de législations nationales ou régionales, adaptées à leurs propres exigences (EAA, 2018, Sousa, 2001). D'une manière générale, la loi du pollueur-payeur est appliquée quant à la prise en charge des coûts de décontamination. Cependant, contrairement aux États-Unis et au Canada, certains pays européens disposent de législations permettant d'exempter le pollueur de ces charges, considérant certaines conditions (Sousa, 2001). Les Pays-Bas, la Belgique, l'Allemagne et le Royaume-Uni sont des plus investis dans la gestion des sites pollués. Ceux-ci disposent d'une gouvernance structurée et sont des propulseurs de technologies innovantes de

décontamination à travers l'investissement dans la recherche et dans la réalisation de projets de démonstration (ADEME, 2011). Ces pays ont beaucoup développé le lavage de sols pour les métaux et les composés organiques. Ils ont aussi beaucoup étudié les traitements par flottation, gravimétrie, magnétisme et la lixiviation chimique pour les métaux. Pour les composés organiques, le traitement par biopiles, la désorption thermique, le traitement par oxydation ou par des surfactants appliqués dans les deux cas de façon in situ. Des essais de phytoremédiation ont eu cours mais elles ont eu peu de succès commercial jusqu'à présent. Selon L'agence européenne pour l'environnement, 342 000 sites contaminés ont été identifiés en Europe. 15 % de ces sites ont bénéficié de procédure de remédiation (EAA, 2018, Sousa, 2001). En 2002, le coût total estimatif de décontamination de tous les sites contaminés de l'Union Européenne était compris entre 68,4 et 129,9 milliards de dollars (USITC, 2004). Le coût estimatif de décontamination dans l'Europe de l'Ouest est estimé à 20 504 millions d'euros (1 euro= ~ 1,5 dollars CAN). L'*annexe 1* détaille les coûts estimatifs de décontamination par région européenne (Prokop et al., 2000).

D'une manière générale, en Europe, les terrains sont inventoriés dans des inventaires nationaux ou régionaux en tenant compte du risque associé à la santé et l'environnement ou en se basant sur leur impact sur les ressources naturelles (Sousa, 2001). Environ 40 % des dépenses totales de la gestion des sols proviennent du budget publique. Les dépenses moyennes nationales par an correspondent à environ 0,041 % du PIB (11 euros.habitant<sup>-1</sup>. an<sup>-1</sup> ; 1 euro= ~ 1,5 dollars). La Belgique, le Danemark, les Pays-Bas et la Suisse consacrent les fonds les plus élevés dans les mesures de remédiation ; soit environ 20 euros. habitant<sup>-1</sup>. an<sup>-1</sup> (EAA, 2018). Le Royaume Unis et les pays bas dépensent plus que 100 millions de dollars an<sup>-1</sup> pour la remédiation des sites contaminés. Les autres pays de l'union européenne dépensent entre 10 et 100 millions de dollars an<sup>-1</sup>. En Europe, les fonds de remédiation sont aussi alimentés par les taxes imposées aux secteurs producteurs des déchets (Sousa, 2001). Les coûts des projets d'assainissement sont généralement compris entre 50 000 et 500 000 euros. Les principaux contaminants rencontrés sont les métaux (35 % des cas inventoriés) suivis des hydrocarbures pétroliers (23,8 %). Certains sols présentent aussi des contaminations avec les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les hydrocarbures chlorés et autres (cyanure par exemple) (EAA, 2018).

Au Canada, la gestion des lieux contaminés est variable entre les différentes autorités (CCME, 1996). Au Québec, le système de gestion des terrains contaminés comptait 8 334 inscriptions de terrains contaminés en 2010. La moyenne annuelle des inscriptions est de 364 terrains.an<sup>-1</sup>. 25 % des terrains enregistrés indiquent la présence d'une contamination des eaux souterraines. Le secteur privé est responsable de 78 % des cas enregistrés (MDDELCC, 2010). En 2015, le passif environnemental du gouvernement du Québec est estimé à 3,16 milliards de dollars, soit 1 927 sites contaminés. Pour l'année 2022, le gouvernement s'est engagé de réduire de 50 % le passif environnemental se trouvant sous sa responsabilité. Une somme de 176 millions de dollars était dépensée entre 2012 et 2015 pour effectuer des travaux d'assainissement des sols. Cependant, ceci n'a pas eu d'effet majeur sur la réduction du passif à l'égard des sites contaminés (VGQ, 2016). La majorité des terrains enregistrés présentent une contamination organique (73 %). Les produits pétroliers, surtout les C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> sont les contaminants prédominants détectés. Ceux-ci sont suivis par les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Quelques terrains ont aussi indiqué la présence d'autres contaminants comme les byphényles polychlorés (BPC), les hydrocarbures chlorés volatils et les dioxines et furanes (< 5%). Les terrains renfermant des contaminants inorganiques et par une contamination mixte présentent 12 % et 15 % des inscriptions (MDDELCC, 2010).

En vue de diminuer le passif environnemental et de réduire l'impact écologique, social et économique des sites contaminés, différents efforts sont déployés aussi bien à l'échelle fédérale (Gouvernement Canada) qu'à l'échelle provinciale (Gouvernement Québec). Ceux-ci se manifestent par des réformes législatives et par la mise en place d'instruments financiers encourageant les promoteurs concernés à entreprendre des démarches de décontamination et de restauration des sites dégradés. Dans un contexte global, les terrains contaminés sont assujettis à la loi canadienne sur la protection de l'environnement (mise en vigueur depuis 1988) et à la loi sur la qualité de l'environnement du Québec.

Dans un cadre plus spécifique, au Québec c'est le projet de Loi 65 et le projet de Loi 72 (mis en vigueur en 2003) qui renferment les directions quant à l'évaluation de la pollution et de la mise en place de stratégies de décontamination et d'actions de restauration des sites contaminés



(Landry *et al.*, 1997). La gestion de ces derniers est aussi soumise au Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement, au Règlement sur le stockage et les centres de transfert des terrains contaminés, le Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (mis en vigueur en 2001) et le Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains contaminés (mis en vigueur en 2003). Le dernier règlement précise les concentrations seuils des contaminants, jugées acceptables en fonction de la vocation du terrain. Une grille de critères génériques a été établie pour les contaminants inorganiques et organiques pour lesquels le critère A est attribué à un usage agricole, le critère B est associé à un terrain résidentiel, récréatif, institutionnel ou commercial (localisation dans un secteur résidentiel) et le critère C est relatif à un terrain à vocation commerciale ou industrielle (MDDELCC, 2017g).

Jusqu'à présent, peu de procédés commerciaux de traitement des métaux sont économiquement viables au Québec. En ce sens, le marché québécois se caractérise par la présence de procédés peu coûteux relativement aux procédés appliqués dans de grands projets au Canada, aux États-Unis et en Europe. Par exemple les gouvernements du Canada et de la Nouvelle-Écosse ont financé le traitement sur le site nommé Sydney tar pond au coût de 400 millions de dollars pour 1 million de tonnes de sol au prise avec une contamination mixte (donc 400 dollars.t<sup>-1</sup>t). Le [tableau 1](#) présente des grands projets de traitement de sols contaminés. Les contaminants inorganiques s'avérant dangereux peuvent être dirigés vers l'enfouissement sécuritaire après leur immobilisation par une procédure de stabilisation/solidification (Stablex) (Brousseau *et al.*, 2009). La stabilisation implique des réactions chimiques spécifiques qui réduisent la mobilité des contaminants inorganiques (Suthersan, 1996). Les agents de stabilisation utilisés sont de nature organique ou inorganique (Wuana *et al.*, 2011). La solidification assure le confinement du contaminant inorganique à travers son emprisonnement dans une structure monolithique (béton) pour limiter son exposition aux mécanismes de lixiviation (Suthersan, 1996). D'énormes volumes sont alors gérés dans les surfaces de disposition de l'usine de traitement (FRTR, 2016, Mulligan *et al.*, 2001). Pour le projet Sydney tar pond, la stabilisation se fait sur le site de diverses façons selon les caractéristiques locales. Le site de Pointe-aux-Lièvres (Tableau 1) a surtout été géré par enfouissement (sols contaminés par des métaux surtout). Pour le projet d'Estimauville, l'élaboration du projet est en cours et les modes de gestion ne sont pas connus. Le site de Fox

River et du port de Miami ont surtout été traités par lavages de sols. Pour le port de Gaspé, les sédiments ont été gérés par enfouissement.

**Tableau 1 Exemples de grands projets de traitement des sols contaminés**

Site	Contaminants	Quantité (Tonnes de sol)	Montant (Dollars)	Coût/tonne (Dollars)	Échéancier	Entreprise
Sydney Tar Pond, Nouvelle-Écosse	Métaux, HAP, BPC	1 000 000	400 000 000	400	2008-2016	Earthtec (Tyco)
Fox River, États-Unis	Wisconsin, BPC	700 000 <sup>2</sup>	400 000 000	571	2008-2017	Boskalis (NL)
D'Estimauville Québec	de Métaux, HAP, C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub>	800 000 <sup>3</sup>	Non connu	Inconnu	2012- ?	À octroyer
Pointe-aux-lièvres, ville de Québec	Métaux, HAP, C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub>	Important <sup>4</sup>	Non connu	Inconnu	2012- ?	À octroyer
Sandy Beach, Gaspé	Port de Cuivre, HAP	50 000 <sup>3</sup>	22 000 000 <sup>3</sup>	440	2011- 2015	Sanexen
Port of (sédiments)	Miami Métaux, contaminants organiques	740 000 <sup>5</sup>	74 000 000	400	2003-2005	Boskalis (NL)

<sup>1</sup> Valeur estimée, à confirmer ; <sup>2</sup> Valeur totale non connue encore en 2011 ; <sup>3</sup> Première estimation, projet non réalisé ; <sup>4</sup> Taille du site importante mais non précisée, <sup>5</sup> Sur la base humide, prix considérant 25 % de solides totaux

Dans une optique de développement durable et d'amélioration de la qualité de l'environnement, les encouragements financiers pour soutenir l'action de la politique de protection et de réhabilitation des terrains contaminés sont nombreux. Le programme Revi-Sol, lancé en 1998, a permis de concrétiser 131 projets montréalais de décontamination des sites en milieu urbain d'une valeur de 120,5 millions de dollars. Les investissements totaux réalisés grâce aux travaux de restauration étaient évalués à 1,9 milliard de dollars permettant la création de 16 000 emplois (MDDELCC, 2017d). Le [tableau 2](#) ci-dessous, présente des exemples de projets d'assainissement et d'aménagement concrétisés grâce à ce programme de subvention (MDDELCC, 2017c).

De sa part, le programme ClimatSol (2007-2015) a permis de revitaliser 220 projets de décontamination et de réaliser un investissement de 1,6 milliard de dollars (MDDELCC, 2017b). Le profit de réaménagement des terrains contaminés consiste essentiellement à donner une deuxième vie aux quartiers abandonnés, à abaisser les coûts de l'infrastructure municipale,

élargir l'assiette fiscale des municipalités et freiner l'expansion urbaine (SCHL, 2017a). En 2016, le gouvernement du Québec a alloué un total de 175 millions de dollars aux travaux de décontamination des terrains et leur transformation en des opportunités de développement économique. Une somme de 120 millions de dollars est consacrée à la réhabilitation des terrains de l'état. Le programme ClimatSol-plus a été annoncé au budget 2016-2017. Celui-ci s'étendrait sur une période de cinq ans. Une somme de 55 millions de dollars a été injectée au programme pour inciter les municipalités et les propriétés privés à la restauration des sites pollués, à fort potentiel économique (MDDELCC, 2017b, MDDELCC, 2017f)

**Tableau 2 Exemples de projets de décontamination et de revitalisation de terrains industriels soutenus par le programme ReviSol**

Projet	Description
Le quai des éclusiers (SCHL, 2017c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Activité antérieure : En action depuis 1889 ; 1,8 hectares ; ancienne usine de fer forgé</li> <li>✓ Contaminants : Métaux lourds et HAP</li> <li>✓ <b>Méthode d'assainissement</b> : Excavation et mise en décharge</li> <li>✓ Coût de décontamination : 6 500 000 dollars</li> <li>✓ Sources financières : 820 000 dollars du programme Revi-Sols de la province de Québec et 800 000 dollars de la Ville de Montréal</li> <li>✓ Avantage des travaux de réhabilitation : Nouveau paysage résidentiel permettant des revenus sous la forme d'impôts fonciers (environ 1 900 000 dollars.an<sup>-1</sup>)</li> </ul>
Le cours Chaboillez (SCHL, 2017b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Activités antérieures : Zone active depuis 1872 ; 4,9 hectares ; ancien site industriel muni de rails ferroviaires, hangars à marchandises, entreprise de peinture et de papier peint, station-service.</li> <li>✓ Contaminants : Métaux lourds et HAP</li> <li>✓ <b>Méthode d'assainissement</b> : Gestion par évaluation du risque et la contamination est laissé en place</li> <li>✓ Coût de remise en état : 8 200 000 dollars</li> <li>✓ Sources financières : Subvention d'environ 2 600 000 dollars du programme Revi-Sols.</li> <li>✓ Avantage des travaux de réhabilitation : Zone à usage mixte (résidentiel et commercial) permettant des revenus allant jusqu'à 3 600 000 dollars.an<sup>-1</sup>.</li> </ul>

## 2 Aperçu sur les contaminants des sols

### 2.1 Contaminants organiques

**Les Hydrocarbures pétroliers** sont les principaux contaminants des sols au Québec. Ce sont des extraits de l'industrie pétrochimiques, caractérisés par leur hydrophobie et formés essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène ([ATSDR, 1999](#), [MDDELCC, 2010](#)) :

Les hydrocarbures pétroliers (C10-C50) sont des composés de l'essence, du diesel et du mazout. Ils sont caractérisés par de longues chaînes de carbone, d'un poids moléculaire élevé et d'un point d'ébullition relativement élevé, dépendamment du nombre de carbones. Un nombre élevé d'atomes de carbone affecte négativement l'oxydation et la dégradation de ces composés. La solubilité des alcanes augmente quand la chaîne de carbones diminue ce qui augmente par conséquent leur toxicité ([CEAE, 2015](#), [ECCC. et al., 2016](#), [Turner et al., 2017](#)).

Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) pénètrent dans l'environnement via l'air. Leur structure renferme un seul noyau de benzène. Ces composés se trouvent dans l'essence. Ce sont les benzènes, les toluènes, les éthylbenzènes et les xylènes (BTEX). Leur point d'ébullition est relativement bas, inflammables et sont classés parmi les composés organiques volatils ([Environment-Canada, 2005](#)).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) font partie de la famille des composés semi-volatils non halogénés. Leur structure renferme au moins deux noyaux benzéniques arrangés de façon linéaire, angulaire ou en grappe. Ils sont caractérisés par leur forte hydrophobie, peu volatils et peu mobiles dans le sol, Ceux-ci s'y trouvent adsorbés à la matière organique ou aux particules du sol ([De Pontevès et al., 2005](#), [INERIS, 2005](#)).

D'une manière générale, ces différents hydrocarbures pétroliers peuvent être responsables d'effets génotoxiques, d'anomalies de développement, de cancers et d'altérations des capacités reproductives et du système immunitaire. Ces composés sont bio-accumulables et

potentiellement transmissibles à l'humain via la chaîne trophique (De Pontevès *et al.*, 2005, INERIS, 2005).

**Les Biphényles polychlorés (BPC)** sont formés par deux noyaux benzéniques. Les atomes de carbones sont liés en tout ou en partie avec des atomes de chlore. Ce sont des composés très stables et résistants à la dégradation thermique, chimique ou biologique (MDDELCC, 2017a). La fabrication et l'importation des BPC a été bannie en Amérique du Nord. Ces composés existaient comme ingrédients dans les produits d'étanchéité, dans l'encre, et la peinture et comme agents réfrigérants et lubrifiants pour certains dispositifs électriques. Ils sont assujettis à une réglementation stricte quant à leur manipulation, entreposage et élimination à cause de leurs propriétés potentiellement cancérigènes et leurs propriétés bio-accumulatrices dans les cellules vivantes (Gouvernement-Canada, 2017a).

**Les hydrocarbures chlorés volatils** sont des dérivés halogénés, issus de chimie de synthèse. Ces composés ont longtemps servi comme des solvants dans le dégraissage des métaux, le nettoyage à sec et dans l'industrie pharmaceutique. Ce sont des composés de la colle, des peintures et des adhésifs. Les hydrocarbures chlorés volatils les plus répandus sont les dichlorométhanes, les perchloroéthylènes, les trichloroéthylènes et les chlorobenzènes. Ce sont des produits inflammables et très stables. Leur toxicité se manifeste par des irritations oculaires et respiratoires et peuvent être la cause de certains troubles neurologiques (INRS, 2011).

**Les dioxines (polychloro-dibenzodioxines) et furanes (polychloro-dibenzofuranes)** sont des composés polycycliques aromatiques chlorés de structures chimiques proches. Il existe 75 congénères de dioxines et 135 congénères de furanes. 17 de ces congénères sont caractérisés par leur haute toxicité comme le tétrachlorobenzo-*p*-dioxine. Les dioxines et furanes sont produits lors des processus thermiques des incinérateurs, des industries métallurgiques, des industries de fabrication de plastique et des industries de pâte et papier (INERIS, 2004). Les produits de préservation du bois (poteau téléphonique, pieux de garde fous pour les routes) ainsi que certains pesticides comme le chlorophénol et le 2, 4, 5, T sont des sources potentielles de dioxines et furanes (Boddington *et al.*, 1990). Ces contaminants sont détruits à des températures

supérieures à 800 °C. L'exposition aiguë à ces composés cause une atteinte de la peau mais peut aussi avoir un effet cancérigène et atteindre les systèmes neurologique immunitaire et reproductif (INERIS, 2004).

## 2.2 Contaminants inorganiques

Les contaminants inorganiques de source anthropique proviennent des exploitations minières, de la combustion des déchets et de l'industrie de transformation de l'acier (Wuana et Okieimen, 2011). Le zinc par exemple se trouve dans la peinture, les pneus de voiture, les agents de fertilisation et est utilisé dans le processus de galvanisation du fer (Alloway, 2013, Atkins *et al.*, 2007, Louis *et al.*, 1958, Louis *et al.*, 1985).

La contamination environnementale en plomb est causée par les gaz d'échappement des automobiles, la fabrication de munition, la production de plastique et de caoutchouc, les insecticides, les batteries des voitures, la peinture et les produits électroniques (Asrari, 2014, Mercier, 2000, Wuana *et al.*, 2011). Les cendres d'incinérateur de déchets municipaux ont aussi contaminé de nombreux sites. Les sites de pratique de tir à l'arme légère sont aussi contaminés par du plomb, de l'antimoine, du cuivre et du zinc. D'autres composés organiques synthétiques sont une source de contamination par le plomb tels que le diméthyl-diéthylplomb, le chlorure de triméthylplomb et le dichlorure de diéthylplomb (Mercier, 2000, Wuana *et al.*, 2011).

La source de contamination en cuivre provient des industries de traitement du bois, des fongicides, des fertilisants phosphatés, des déchets municipaux, des cendres d'incinérateur de déchets, des matériaux de construction (laiton, bronze) et des fils électriques (Atkins *et al.*, 2007, Kabata-Pendias, 2010b). De sa part, l'étain contamine l'environnement à travers son utilisation dans la fabrication du verre, des pesticides, de la peinture et des stabilisateurs du PVC (Hoch, 2001, Kabata-Pendias, 2010a).

Ces contaminants inorganiques anthropiques sont généralement bio-disponibles et caractérisés par une masse volumique élevée (Bolan *et al.*, 2014, Kabata-Pendias, 2010b). L'exposition aux métaux lourds par inhalation ou ingestion pourrait engendrer des effets toxiques chez l'humain. Par exemple, le plomb est en mesure de causer des perturbations gastro-intestinales et affecter aussi le système nerveux central (Le saturnisme chez les enfants) (Wuana *et al.*, 2011). La

surexposition au cuivre pourrait causer l'anémie et des maladies du système digestif (Alloway, 2013) ([Wuana et al., 2011](#))

Ces métaux dans le sol sont le sujet de transformations complexes tributaires des propriétés physico-chimiques du sol (Composition minéralogique du sol, pH, capacité d'échange cationique et potentiel d'oxydo-réduction). Les mécanismes impliqués sont l'adsorption physique ou chimique aux oxy/hydroxydes de fer, par exemple, ou aux minéraux argileux, la complexation avec les ligands organiques et la précipitation ([Galvez-Cloutier et al., 2005](#), [Kabata-Pendias, 2010b](#)). Les métaux ne sont pas dégradables et persistent dans le sol, il n'est donc pas possible de s'en débarrasser par atténuation naturelle.

### **3 Marché de gestion des terrains contaminés au Québec**

Au Québec, pour la diminution du passif environnemental, le changement de la vocation d'un terrain ou lorsqu'un terrain contaminé présente une menace potentielle pour l'environnement et l'écosystème vivant, le recours à la caractérisation et à l'établissement de stratégie de réhabilitation est requis. Les stratégies de réhabilitation consistent à la diminution de la contamination du sol aux valeurs limites réglementaires. En absence de technique de traitement économiquement viable, la contamination initiale pourrait être maintenue sur place et confinée suite à une procédure d'évaluation du risque toxicologique, éco toxicologique et une étude des impacts de la contamination existante sur les eaux souterraines ([MDDELCC, 2016](#)).

Les sols contaminés excavés sont traités, enfouis ou valorisés. L'excavation et l'enfouissement des sols sont les techniques les plus adoptées. Celles-ci concerne 62 % des cas de contamination enregistrées suivie du traitement (33 %) et de la valorisation (3 %) ([MDDELCC, 2010](#)). À l'heure actuelle, cinq lieux d'enfouissement autorisés sont en exploitation. Ceux-ci reçoivent des centaines de milliers de tonnes de sols contaminés. La quantité des sols enfouis augmentait depuis 2005 pour atteindre environ 500 000 tonnes métriques en 2014 (sols <C et > C). La rapidité de la procédure, l'absence de technologies de remédiation pour certains types de contaminants, l'absence d'options de valorisation des sols traités ou légèrement contaminés et le faible coût de l'enfouissement justifient le recours à l'option d'enfouissement ([MDDELCC, 2017e](#)).

La remédiation *in situ* ou *ex situ* des sols sont de plus en plus favorisées (MDDELCC, 2016).

L'orientation progressive du Québec vers une politique verte a engendré au fil du temps la croissance d'une activité entrepreneuriale dynamique pour la revitalisation durable du territoire québécois. Le marché des terrains contaminés est géré par une trentaine de petites et de moyennes entreprises ayant développé de l'expertise dans les procédés de traitement des contaminants organiques et de la contamination mixte (MESI, 2017). Les principaux actionnaires industriels sont décrits dans le [tableau 3](#). Une liste de la localisation géographique des entreprises est présentée à l'annexe 3. Ces compagnies utilisent des méthodes de traitement *in situ* ou des méthodes de traitement sur site ou hors site, nécessitant ainsi une étape d'excavation du sol à traiter. Selon le bilan de gestion des terrains contaminés, entre l'année 2003 et 2010, 77 des cas des terrains enregistrés ont subi un traitement *in situ*. Le traitement *in situ* est généralement lié à l'inaccessibilité de l'opérateur à la contamination (MDDELCC, 2010). Le [tableau 4](#), présente la liste des industries ayant réalisé des travaux de réhabilitation *in situ* des sols et des eaux souterraines contaminés au Québec approuvés par le MDDELCC et détenant un certificat d'autorisation ou d'un plan de réhabilitation (MDDELCC, 2011).



**Tableau 3 Principales entreprises dans le secteur de traitement des sols contaminés au Québec**

<b>Entreprise</b>	<b>Activités</b>
Englobe (Englobe, 2017)	<b>Traitements <i>in-situ</i> et <i>ex-situ</i> des sols</b> ✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique ✓ Rehaussement thermique ✓ Lavage des sols ✓ Activités au Canada, en France et au Royaume-Unis
Golder associés (MESI, 2017)	<b>Traitements <i>in-situ</i> et <i>ex-situ</i> des sols</b> ✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique ✓ Chauffage des sols ✓ Activités en Afrique, Asie, Australie, Europe, Amérique Latine et Amérique du Nord
Enfoui-Bec	<b>Traitement des sols <i>ex-situ</i></b> Traitement biologique Enfouissement des sols contaminés
Northex Environnement (Lamothe <i>et al.</i> , 2009, Northex-environnement, 2017a, Northex-environnement, 2017b)	<b>Traitements <i>in-situ</i> et <i>ex-situ</i> des sols</b> ✓ Traitement biologique ✓ Traitement thermique ✓ Oxydation chimique ✓ Développement d'un procédé de traitement physico-chimique des métaux et mise en place d'un programme de valorisation des sols traités ✓ Le plus grand centre de traitement à l'est du Canada
Groupe Qualitas (MESI, 2017)	<b>Traitements <i>ex-situ</i> et <i>in-situ</i></b>
Récupère Sol (RSI-Environnement, 2017)	<b>Traitement <i>ex-situ</i></b> ✓ Traitement thermique (Désorption thermique à haute température)
Sanexen Services environnementaux (Sanexen-services-environnementaux, 2017)	<b>Traitements <i>ex-situ</i> et <i>in-situ</i></b> ✓ Traitement biologique (bio stimulation aérobie et bio augmentation) ✓ Oxydation chimique ✓ Lessivage (Circulation d'eau chaude) ✓ Analyse du risque ✓ Couvre l'ensemble du territoire Nord-américain
TechnoRem (TechnoRem, 2017)	✓ Analyse du risque ☐
Tecosol et Métox Inc. (Tecosol, 2017a)	<b>Traitement <i>in-situ</i>; Métox Inc. traite les métaux et sols contaminés mixtes sur site.</b> ✓ Oxydation chimique (Tecosol) ✓ Traitement des métaux et de la contamination mixte en réacteurs (Métox Inc.)
Terrapex Environnement (Terrapex-environnement, 2017)	<b>Traitement <i>in-situ</i></b> ✓ Traitement biologique (bio-augmentation et bio stimulation aérobie et anaérobie) ✓ Oxydation chimique et lessivage

**Tableau 4 Liste des compagnies ayant réalisé des travaux de réhabilitation *in situ* de sols et d'eaux souterraines contaminés au Québec (MDDELCC, 2011, Tecosol, 2017b)**

<b>Entreprise</b>	<b>Type de traitement</b>
EnGlobe Corp.	✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique
Enutech inc.	✓ Traitement biologique ✓ Réduction chimique ✓ Barrière perméable réactive ✓ Phyto traitement ✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Oxydation chimique
Équipement de réhabilitation environnemental E.R.E inc.	✓ Extraction multi phase/pompage et traitement
Gestenv inc.	✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Oxydation chimique
Golder Associés Ltée	✓ Oxydation chimique ✓ Traitement biologique ✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Phyto traitement
Groupe Akifer inc.	✓ Oxydation chimique
SNC Lavalin Stavibel Inc	✓ Oxydation chimique ✓ Traitement biologique
Imausar Environnement inc.	✓ Traitement biologique
GHD Consultants Ltée	✓ Oxydation chimique ✓ Traitement biologique ✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Volatilisation
Northex Environnement inc.	✓ Oxydation chimique
Physis Environnement, inc.	✓ Oxydation chimique
Récupère sol	✓ Désorption thermique et destruction des composés organiques
Sanexen Services Environnementaux inc.	✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique
Services Enviro-Mart Inc.	✓ Oxydation chimique
Sogevem Associés Experts Conseils Ltée	✓ Traitement biologique
Technorem Inc.	✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique ✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Lessivage
Tecosol et Métox Inc.	✓ Oxydation chimique ✓ Enlèvement sur site des composés organiques et des métaux en un seul réacteur (Projet de démonstration, Valcartier; projet de vitrine technologique, Ville de Québec)
Terrapex environnement Ltée	✓ Traitement biologique ✓ Oxydation chimique ✓ Extraction multi phase/pompage et traitement ✓ Lessivage ✓ Volatilisation
Vertex Environnement Solutions Inc.	✓ Oxydation chimique

Les entreprises comme Englobe, Golder associés et Sanexen Services environnementaux couvrent aussi bien le marché local que le marché international. Ceux-ci sont dotés de diverses expériences d'exportation technologiques. Leur expansion internationale est en progression continue à travers la recherche active de marchés européens ([exemples donnés à Annexe 2](#)). Les principales techniques de traitement présentement disponibles sur le marché sont alors l'oxydation chimique, le traitement biologique par bio augmentation, bio stimulation, la désorption thermique. Le traitement biologique par biopile est de loin la technique la plus utilisée « sur site » et dans des centres de traitement pour les contaminations par des hydrocarbures.

L'**oxydation chimique** repose sur l'utilisation d'agents oxydants comme le permanganate de potassium ou de sodium, le peroxyde d'hydrogène, l'ozone ou le persulfate de sodium pour détruire une large gamme de contaminants organiques. C'est la technique « *In situ* » la plus utilisée. Ces contaminants seraient transformés en des composés inoffensifs ou moins toxiques. La durée de traitement est généralement de quelques semaines et caractérisée par un prix unitaire en France qui varie de 60 à 143 dollars.t.m<sup>-1</sup> ([Colombano et al., 2010](#)).

La **bio augmentation** consiste à ensemercer des micro-organismes exogènes ou indigènes collectés du site contaminé afin d'augmenter l'activité de dégradation des polluants organiques. Une période de remédiation de six mois à cinq ans est requise. Le coût de traitement varie de 66 à 222 dollars.t.m<sup>-1</sup> ([FRTR, 2017](#), [Gouvernement-Canada, 2017b](#)).

La **bio stimulation** consiste à créer des conditions de croissance favorables aux micro-organismes présents dans le sol pour stimuler l'activité de dégradation. Comme la bio-augmentation, la période de traitement est variable de six mois à cinq ans et caractérisée par un faible coût de 23 à 75 dollars.t.m<sup>-1</sup> ([Colombano et al., 2010](#), [Lecomte, 1998](#)).

La **phytoremédiation** permet d'exploiter le pouvoir décontaminant de certaines espèces végétales. Trois différents mécanismes de remédiation peuvent être employés, soient ; la phytotransformation, la phytovolatilisation et la rhizodégradation. La méthode a commencé à

intégrer le marché québécois. La période de traitement s'étale de 2 à 20 ans ([Colombano et al., 2010](#)). Elle est peu utilisée au Québec et devrait se pratiquer de façon « *In situ* ».

De sa part, la **désorption thermique** permet l'élimination des contaminants organiques par volatilisation à travers le chauffage du sol puis combustion. Si elle est pratiquée en usine (Récupère So) après excavation et transport, elle est coûteuse (de l'ordre de 600 dollars.t<sup>-1</sup> pour les dioxines et furanes) mais efficace.

La sélection de l'ensemble des techniques de traitement est tributaire de la complexité du site à traiter. Parmi les projets de décontamination concrétisés au Québec et les exemples de coût qui y sont associés, il y a le projet d'aménagement pour le quai de Cap au Meule. Le projet vise le traitement d'une superficie de 13 000 m<sup>2</sup> contaminés par le déversement de 100 000 litres de mazout. Deux ans sont consacrés au projet où cinq techniques de traitement étaient sélectionnées soient, la bio aspiration, l'extraction de vapeurs, le traitement thermique, l'oxydation chimique et la biodégradation en condition aérobie. Les coûts des travaux de décontamination s'élèvent à 32,6 millions de dollars ([Hydro-Québec, 2017](#), [Radio-Canada, 2016](#)).

Il y a aussi le projet de restauration du port de Gaspé (Sandy Beach). Celui-ci présente la stratégie de traitement d'un volume de 27 000 m<sup>3</sup> de sédiments contaminés par le cuivre et les HAP. Le coût de traitement est évalué entre 24 à 36 millions de dollars (coût entre 400 et 700 dollars.t<sup>-1</sup>). Les sédiments contaminés sont dragués du fond de la baie, séchés et transportés vers un site d'élimination de matériaux contaminés et enfouis sans traitement ([Radio-Canada, 2015](#)).

Un projet d'élimination des métaux des sols contaminés est le procédé chimique innovant mis au point par Northex. Celui-ci offrent des solutions aux sols faiblement contaminés qui envahissent le marché. Le traitement *ex-situ* consiste en un lavage physico-chimique de sols contaminés. La procédure consiste à diminuer la teneur des contaminants en une valeur acceptable avec des prix concurrentiels. Il s'agit d'une étape de ségrégation mécanique jumelée à l'extraction chimique des contaminants inorganiques des particules fines du sol. ([Lamothe et al., 2009](#), [Northex-environnement, 2016](#), [Northex-environnement, 2017b](#), [TDDC, 2017](#)). Le procédé de Northex comprenant l'étape de lixiviation chimique en plus des traitements physiques que

sont le tamisage ou la séparation magnétique, est nécessairement beaucoup plus coûteux que l'enfouissement. Son coût devrait osciller entre 150 et 300 dollars par tonne lorsqu'il utilise la lixiviation chimique pour les métaux. Les projets avec de grands volumes de sol amenant une économie d'échelle permettant le prix le plus faible.

Cet exemple met l'accent sur la réglementation avant-gardiste du Québec et ses politiques environnementales comme étant des stimulés du développement croissant de la recherche dans le domaine de traitement des sols contaminés. Les entreprises de traitement sont alors en alliance avec les centres de recherche pour trouver des technologies innovatrices permettant de relever les défis de décontamination et de réhabilitation des sites avec les moindres coûts. Pendant plus qu'une vingtaine d'années, l'Institut de Recherche en Biologie Végétale (IRBV) dirigeait activement ses travaux à l'exploitation des phytotechnologies pour le traitement des sites contaminés. En 2015, une subvention de 780 000 dollars a été allouée sur une période de quatre ans à l'IRBV pour financer des projets pilote de phytoremédiation de quatre hectares de terrains situés à l'est de la ville de Montréal (Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles) ([Le-Devoir, 2015](#), [Montréal, 2017](#), [Udem, 2017](#)). Dans le même contexte, L'IRBV dirige un projet pilote de décontamination de terrains au prise avec des métaux lourds dans la ville de Longueuil (1 000 m<sup>2</sup>). Les saules sont les principales plantes utilisées. Celles-ci sont mélangées avec des bactéries et des champignons pour assurer une meilleure absorption des polluants inorganiques. Bien que la durée du projet a été estimé de 5 à 20 ans, des faibles coûts ont été reportées comparativement aux méthodes conventionnelles soient, une dizaine de millions de dollars ([Radio-Canada, 2014](#)).

Le traitement des sites de stockage du bois traité présente également un exemple des sujets préoccupants la recherche au sein de l'INRS\_ETE. Deux brevets ont été déposés portant sur le traitement de la contamination mixte par l'arsenic, le chrome, le cuivre, les pentachlorophénols, les dioxines et les furanes. Ces sols sont couramment décontaminés par la désorption thermique (Récupère Sol) à un coût d'environ 600 dollars.t<sup>-1</sup> s'il y a de bonnes teneurs en dioxines et furanes. Le projet innovant de l'INRS-ETE suggère l'utilisation de l'attrition combinée ou non à un agent surfactant pour la génération de boue enrichie en contaminants. Une base est aussi utilisée pour solubiliser le reste des contaminants dans le sol. La solution contaminée générée est traitée

à travers l'utilisation d'agents coagulant pour précipiter les composants inorganiques. L'adsorption par le charbon actif ou par l'utilisation de résine d'échange ionique est employée pour extraire le pentachlorophénol, les dioxines et les furanes (Blais *et al.*, 2011).

Les exemples sont nombreux tel que le cas du procédé Métox développé depuis 2008 pour le traitement des cas de contamination mixte. Le procédé consiste à l'utilisation d'un surfactant biodégradable pour déloger la contamination organique des particules du sol. La flottation couplée à des agents chimiques est aussi utilisée pour enlever les HAP flottés et les métaux dissous dans l'effluent. Bien que l'excavation soit nécessaire, les coûts de transport du sol sont nuls grâce à la mise en place de station de traitement mobile. L'étude a bénéficié de l'obtention d'un brevet que seul l'entreprise de traitement des sols contaminés *Métox Inc.* est en mesure d'exploiter (Mercier *et al.*, 2016, Tecosol, 2017b). Le projet de démonstration a bénéficié d'une subvention de 300 000 dollars dans le cadre du programme de vitrine technologique. Le coût total du projet de démonstration (non pas le coût de traitement) était estimé à 1 012 975 dollars pour traiter environ un millier de tonnes de sol contaminés par des cendres d'incinération (Ville-de-Québec, 2015). Le procédé Métox Inc. étant un procédé enlevant simultanément les composés organiques toxiques et les métaux, il est très compétitif au niveau du coût et il peut compétitionner l'enfouissement des sols ainsi contaminés et se trouve aussi à être moins dispendieux que le procédé de Northex.

## 4 Conclusion

Le Canada a inscrit à son budget un passif environnemental d'environ cinq milliards de dollars (7,7 milliards de dollars si on inclut les sites nucléaires) pour tenir compte du coût approximatif de réhabilitation de ces terrains. Le gouvernement canadien a donc lancé un programme de réhabilitation de cinq milliards de dollars mais le programme prend du retard. Le gouvernement du Québec avait un passif en terrains contaminés évalué à 3.169 milliards de dollars en 2010, passif qu'il faut aussi gérer selon la politique du développement durable. Les sols liés à ce passif sont très partiellement gérés. En considérant la population relative des autres provinces, le passif québécois et le passif canadien, il est facile de conclure que pour les gouvernements fédéraux, provinciaux et municipaux, le passif environnemental s'élève très probablement à plus de 20 milliards de dollars pour le Canada. De plus les terrains privés doivent être ajoutés à ce montant. Il est fort probable que la réhabilitation de tous ces sites par diverses méthodes (in situ ou par excavation) prendra de 2 à 3 décennies.

Le marché québécois de la gestion des sols contaminés se caractérise par un marché où les coûts de gestion sont relativement faibles par rapport au reste du Canada, aux États-Unis et en Europe. La forte compétition entre les centres d'enfouissement exerce une pression à la baisse des coûts à l'enfouissement. La plupart des régions dispose de sites d'enfouissement de sols contaminés même s'il reste des régions qui n'en ont pas. Par contre, la recherche et développement sur les sols contaminés a été passablement intense au Québec, ce qui a permis de mettre au point des technologies très compétitives pour traiter les contaminants organiques et les métaux. Étant donné la tendance du MDDELCC à rendre les normes et les techniques plus exigeantes, il est probable que les technologies de traitement prennent une plus grande part de marché. L'imposition probable d'une taxe à l'enfouissement des sols contaminés par le MDDELCC est un incitatif fort à cet effet et démontre les intentions du ministère.

## 5 Bibliographie

- ADEME (2011) La gestion intégrée des sols, des eaux souterraines et des sédiments pollués. (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, France), p 36.
- Alloway B (2013) *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Springer science & business media, Netherlands, Third. 615 p
- Asrari E (2014) Heavy metal contamination of water and soil: analysis, assessment, and remediation strategies. CRC Press, Taylor and francis group, Toronto, New Jersey. 386 p.
- Atkins PW, Jones L & Pousse A (2007) *Principes de chimie*. Worth , New York and Basingstoke, US, 3e Edition. 1120 p. [https://books.google.ca/books?id=nVMRXA\\_mjqUC](https://books.google.ca/books?id=nVMRXA_mjqUC)
- ATSDR (1999) *Toxic Substances Portal - Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)*. Agency for toxic substances and disease registry, U.S), <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=423&tid=75> (Consulté le 03 Décembre)
- Blais JF, Reynier N & Mercier G (2011) *Process for decontamination of soils polluted with metals, pentachlorophenol, dioxins and furans and contaminants removal from leachates. Demande informelle Canadienne no 2,762,060 déposée le 16 décembre 2011*. Attribué.
- Boddington M, Gilman A, Newhook R, Braune B, Hay D & Shantora V (1990) Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire Rapport d'évaluation"1 : Polychlorodibenzodioxineset polychlorodibenzofuranes. Gouvernement Canada, Environnement Canada et Santé Canada, ISBN 0662-96003-3, Canada, 64 pages.
- Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, Kirkham MB & Scheckel K (2014) Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils–To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials* 266:141-166.
- Brousseau Y, Dubé J-S & Hardy E (2009) La solidification/stabilisation au ciment : Un nouvel outil pour une gestion durable des sols contaminés. *Vecteur Environnement*:5.
- CCME (1996) Document d'orientation sur l'établissement d'objectifs particuliers à un terrain en vue d'améliorer la qualité du sol des lieux contaminés au Canada. (Conseil canadien des ministres de l'environnement, Canada), p 33.
- CEAE (2015) Hydrocarbures pétroliers : Caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale. (Centre d'expertise en analyse environnementale de Québec, Québec), p 55.
- Colombano S, Sada V, Guerin P, Bataillard S, Bellenfant S, Hube C, Blanc C, Zornig C & Girardeau I (2010) Quelles techniques pour quels traitements - Analyses coûts-bénéfices. (BRGM, France), p 403.



- De Pontevès C, Moillon R, Meybeck M, Guegen Y, They S, Teil M, Garban B, Ollivon D, Chevreuil M, Blanchard M & Azimi S (2005) Conception d'un Système Expert dédié à la synthèse des données disponibles en matière de contamination par les polluants organiques (SEQUAPOP). Paris-France), p 39.
- EAA (2018) *Progress in management of contaminated sites*. European environment agency), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment> (Consulté le 01 Janvier)
- EBI (2004) The global environmental market. (Environmental business international, San diego, CA, U.S), p 256.
- ECCC. & SC. (2016) Évaluation préalable. Approche pour le secteur pétrolier. Mazouts lourds. Canada), p 85.
- Englobe (2017) *Caractérisation et réhabilitation de sites*. Englobe, Canada), <http://englobecorp.com/canada/fr/services/caracterisation-et-rehabilitation-de-sites> (Consulté le 03 Décembre)
- Environment-Canada (2005) Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health. in *toluene, ethylbenzene and xylenes (TEX)* (Environment Canada. National Guidelines and Standards Office, Canada), p 94.
- EPA (2004) Cleaning up the nation's waste sites: Markets and technology trends (United States environmental protection agency, U.S), p 338.
- EPA (2017) *Overview of the Brownfields Program. What is a Brownfield?* United States environmental protection agency, U.S), <https://www.epa.gov/brownfields/overview-brownfields-program> (Consulté le 12 Décembre)
- EPA (2018a) *Contaminated Land. What are the trends in contaminated land and their effects on human health and the environment?* United States environmental protection agency, U.S), <https://cfpub.epa.gov/roe/chapter/land/contaminated.cfm#types> (Consulté le 01 Janvier)
- EPA (2018b) *Superfund cleanup process*. United States environmental protection agency, U.S), <https://www.epa.gov/superfund/superfund-cleanup-process> (Consulté le 03 Janvier)
- EPA (2018c) *Superfund: National priorities list (NPL)*. United States environmental protection agency, U.S), <https://www.epa.gov/superfund/superfund-national-priorities-list-npl> (Consulté le 03 Janvier)
- EPA (2018d) *What is Superfund?* United States environmental protection agency, U.S), <https://www.epa.gov/superfund/what-superfund> (Consulté le 03 Janvier)

- FRTR (2016) *Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation), Solidification/Stabilization*. Federal Remediation Technologies Roundtable, USA), <https://frtr.gov/matrix2/section4/4-21.html> (Consulté le Janvier)
- FRTR (2017) *In Situ biological treatment. Enhanced bioremediation*. Federal remediation technologies roundtable), <https://frtr.gov/matrix2/section4/4-2.html> (Consulté le 06 Décembre)
- Galvez-Cloutier R & Lefrancois P (2005) Les sols contaminés par des métaux lourds: Distribution géochimique et techniques de restauration (Première partie). *Vecteur environnement* 38(3).
- Gouvernement-Canada (2000) L'industrie canadienne de l'environnement...Un survol. (Gouvernement Canada, Canada), p 2.
- Gouvernement-Canada (2017a) *BPC*. Gouvernement Canada, Canada), <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/vie-saine/votre-sante-vous/environnement/bpc.html> (Consulté le 04 Décembre)
- Gouvernement-Canada (2017b) *Fiche descriptive : Bioaugmentation – in situ*. Gouvernement du Canada, Canada), <http://gost.tpsgc-pwgsc.gc.ca/tfs.aspx?ID=3&lang=fra> (Consulté le 01 Décembre)
- Gouvernement-Canada (2017c) *Profil de compagnie - Réseau des entreprises canadiennes: Englobe Corp.* Gouvernement Canada, Canada), [https://www.ic.gc.ca/app/ccc/srch/nvgt.do?V\\_SEARCH.docsCount=3&V\\_SEARCH.docsStart=11&V\\_DOCUMENT.docRank=12&lang=fra&prtl=1&profile=cmltPrfl&V\\_TOKEN=1515634511426&V\\_SEARCH.command=navigate&V\\_SEARCH.resultsJSP=/prfl.do&estblmntNo=123456067688&profileId=](https://www.ic.gc.ca/app/ccc/srch/nvgt.do?V_SEARCH.docsCount=3&V_SEARCH.docsStart=11&V_DOCUMENT.docRank=12&lang=fra&prtl=1&profile=cmltPrfl&V_TOKEN=1515634511426&V_SEARCH.command=navigate&V_SEARCH.resultsJSP=/prfl.do&estblmntNo=123456067688&profileId=) (Consulté le 13 Décembre)
- Gouvernement-Canada (2017d) *Profil de compagnie - Réseau des entreprises canadiennes: Sanexen Services Environnementaux Inc.* Gouvernement Canada, Canada), [https://www.ic.gc.ca/app/ccc/srch/nvgt.do?V\\_SEARCH.docsCount=3&V\\_SEARCH.docsStart=3&V\\_DOCUMENT.docRank=4&lang=fra&prtl=1&profile=cmltPrfl&V\\_TOKEN=1515634731599&V\\_SEARCH.command=navigate&V\\_SEARCH.resultsJSP=/prfl.do&estblmntNo=234567034325&profileId=](https://www.ic.gc.ca/app/ccc/srch/nvgt.do?V_SEARCH.docsCount=3&V_SEARCH.docsStart=3&V_DOCUMENT.docRank=4&lang=fra&prtl=1&profile=cmltPrfl&V_TOKEN=1515634731599&V_SEARCH.command=navigate&V_SEARCH.resultsJSP=/prfl.do&estblmntNo=234567034325&profileId=) (Consulté le 13 Décembre)
- Hobeika M (2010) La pollution des sols aux Etat-Unis. Le Superfund américain. (Ambassade de France aux Etats-Unis, service développement durable et transport, France), p 17.
- Hoch M (2001) Organotin compounds in the environment—an overview. *Applied geochemistry* 16(7):719-743.
- Hydro-Québec (2017) *Projet de réhabilitation des sols du quai de Cap-aux-Meules*. Hydro-Québec, Québec), <http://www.hydroquebec.com/projets-construction-transport/cap-aux-meules/> (Consulté le 04 Décembre)
- INERIS (2004) Dioxines et furaines. (Institut national de recherche et de sécurité, France), p 4.

- INERIS (2005) Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Guide méthodologique. Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines. (Institut national de l'environnement industriel et des risques, France), p 80.
- INRS (2011) Les hydrocarbures halogénés (chlorés, fluorés, bromés). (INRS, Québec), p 8.
- Kabata-Pendias A (2010a) *Trace Elements in Soils and Plants*. Taylor & Francis, Boca Raton, London, New York, Fourth. <https://books.google.ca/books?id=mUbePQAACAAJ>
- Kabata-Pendias A (2010b) *Trace elements in soils and plants*. CRC press, Boca Raton, London, New York, Washington, third edition. 413 p
- Lamothe MJ, Gauthier C, Bergeron MA & Dube K (2009) *Méthode pour décontaminer des sols d'un contaminant inorganique par lavage physico-chimique*. Attribué.
- Landry B, didactique Ccdddm & Sherbrooke Cd (1997) *Génie et environnement*. Éditions Le Griffon d'argile, Saint-Foy, Québec. xv, 540 p p. <http://ariane.ulaval.ca/cgi-bin/recherche.cgi?qu=i2894430418>
- Lavallée S (2006 ) Les terrains contaminés au Québec: Quels sont les risques pour les prêteurs? . (Centre interuniversitaire de recherche et analyse des organisations (CIRANO) et Université Laval, Canada), p 54.
- Le-Devoir (2015) *Les plantes au secours des terrains contaminés de l'est de Montréal*. Le Devoir, Québec), (Consulté le 05 Décembre)
- Lecomte P (1998) *Les sites pollués : traitement des sols et des eaux souterraines* Lavoisier Tec et Doc, Paris, 2. 204 p
- Louis H, Jean B & Albert H (1958) Chimie minérale: Famille du bore, métaux alcalino-terreux et alcalins, éléments de transition. Presses universitaires de France, France, 884 p.
- Louis H, Jean B & Albert H (1985) Chimie minérale: Famille du bore, métaux alcalino-terreux et alcalins, éléments de transition. Presses universitaires de France, France, 1012 p.
- MDDELCC (2010) Bilan sur la gestion des terrains contaminés. (Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs, Québec), p 37.
- MDDELCC (2011) Liste des entreprises ayant réalisé des travaux de traitement in situ de sols et d'eaux souterraines contaminés au Québec. (Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), p 4.
- MDDELCC (2016) Guide d'intervention. Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. (Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), p 204.

- MDDELCC (2017a) *Biphényles polychlorés (BPC)*. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/bpc/index.htm> (Consulté le 04 Décembre)
- MDDELCC (2017b) *ClimatSol-Plus – Volet 2. Cadre normatif du programme d'aide à la réhabilitation des terrains contaminés*. (Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), p 40.
- MDDELCC (2017c) *Communiqué de presse. Programme Revi-Sols : Québec porte à 75 millions de dollars ses investissements dans la réhabilitation des terrains contaminés de Montréal*. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?no=607> (Consulté le 15 December)
- MDDELCC (2017d) *Communiqué de presse: Programme Revi-Sols : Québec porte à 75 millions de dollars ses investissements dans la réhabilitation des terrains contaminés de Montréal*. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/Infuseur/communiqu.asp?no=607> (Consulté le 27 Décembre)
- MDDELCC (2017e) *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés : Plan d'action 2017-2021*. (Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), p 34.
- MDDELCC (2017f) *Programme ClimatSol-Plus*. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/climatsol-plus/> (Consulté le 26 Décembre)
- MDDELCC (2017g) *Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés - Loi et règlements*. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec), <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/loi-reg.htm> (Consulté le 04 Décembre)
- MEF (2010) *Marché mondial de l'environnement et perspectives pour les éco-entreprises françaises*. (Ministère de l'économie et des finances, France), p 8.
- Mercier G (2000) *Disponibilité des métaux dans les sols et prévision du rendement d'enlèvement par des techniques minéralurgiques. PhD report*. (Laval university, Canada, Qc, Canada, 293 p.).
- Mercier G, Blais J-F, Mouton J, Drogui P & Chartier M (2016). *Procédé chimique pour la décontamination de milieux pollués*, Brevet Canadien no 2,701,000, Date de délivrance 13 mai 2016.
- Process, decontaminant and chemical kit for the decontaminating media polluted with metals and hydrophobic organic compounds*. (Canada) Attribué.

- MESI (2017) *Pour un Québec vert et prospère*. Ministère de l'économie, de la science et de l'innovation, Québec), <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/environnement/aperçu-de-lindustrie/traitement-des-sols-et-rehabilitation-de-sites/> (Consulté le 10 Décembre)
- Montréal (2017) *Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles – Banc d'essai en phytoremédiation*. Ville de Montréal, Montréal), (Consulté le 06 Décembre)
- Mulligan CN, Yong RN & Gibbs BF (2001) An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments. *Journal of hazardous materials* 85(1):145-163.
- Northex-environnement (2016) Communiqué de presse: Ouverture de l'usine de traitement de sols contaminés en métaux. (Northex-environnement, Canada), p 1.
- Northex-environnement (2017a) *Traitement in situ*. Northex environnement, Canada), (Consulté le 05 Décembre)
- Northex-environnement (2017b) *Usine de traitement*. Northex environnement, Canada), (Consulté le 05 Décembre)
- Prokop G, Schamann M & Edelgaard I (2000) Management of contaminated sites in Western Europe. (Umweltbundesamt Austria and Danish environment protection agency, Denmark), p 171.
- Radio-Canada (2014) *Planter des saules pour décontaminer des terrains industriels*. Radio-Canada, Québec), <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/672608/longueuil-projet-pilote-saules-terrains-contamines> (Consulté le 10 Décembre)
- Radio-Canada (2015) *Quai industriel de Gaspé : la décontamination est lancée*. Radio Canada, Québec), <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/728880/decontamination-quai-sandy-beach> (Consulté le 05 Décembre)
- Radio-Canada (2016) *Décontamination du port de Cap-aux-Meules : coûts beaucoup plus élevés que prévu*. Radio-Canada, Québec), <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/795864/deversement-diesel-hydrocarbures-decontamination-iles-madeleine-hydro-quebec> (Consulté le 05 Janvier)
- Reynier N (2012) *Décontamination des sols pollués par des métaux, du pentachlorophénol et des dioxines et furanes*. Thèse. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Doctorat en sciences de la terre, 284 p.).
- RSI-Environnement (2017) *Les spécialistes dans le traitement de sols contaminés*. RSI ENVIRONNEMENT), <https://rsienvironnement.com/fr/matiere/sols-contamines> (Consulté le 12 Décembre)
- Sanexen-services-environnementaux (2017) *Restauration de sites*. Sanexen services environnementaux Canada), <https://sanexen.com/fr/restauration-de-sites/> (Consulté le 12 Décembre)

- SCHL (2017a) *Réaménagement de terrains contaminés à des fins d'habitation – Études de cas*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, Québec), (Consulté le 10 Décembre)
- SCHL (2017b) Réaménagement de terrains contaminés à des fins d'habitation. Projets réalisés. Études de cas: Le cours chaboillez (Société canadienne d'hypothèques et de logement, Québec), p 5.
- SCHL (2017c) Réaménagement de terrains contaminés à des fins d'habitation. Projets réalisés. Études de cas: Quai des éclusiers. (Société canadienne d'hypothèques et de logement, Québec), p 5.
- Sousa CD (2001) Contaminated sites: The Canadian situation in an international context. *Journal of Environmental Management* 62(2):131-154.
- Suthersan S (1996) Stabilization and Solidification. *Remediation Engineering: Design , concepts*, Publishers L (Édit.) Lewis Publishers, Boca Raton, New York, London, Tokyodoi:10.1201/9781420050585.ch12 10.1201/9781420050585.ch12. p 301- 307.
- TDDC (2017) *Traitement des sols contaminés par des métaux*. Technologies du développement durable canada, Canada), <https://www.sdtc.ca/fr/portfolio/projects/treatment-metal-contaminated-soils> (Consulté le 05 Décembre)
- TechnoRem (2017) *Évaluation environnementale et restauration des sites contaminés*. TechnoRem, Canada), <http://www.technorem.com/Francais/Evaluation.htm> (Consulté le 13 Décembre)
- Tecosol (2017a) *Décontamination*. Tecosol, Canada), <http://www.tecosol.com/services/decontamination> (Consulté le 12 Décembre)
- Tecosol (2017b) *Métox, une filiale de Tecosol*. Tecosol, Québec), <http://www.tecosol.com/metox> (Consulté le 12 Décembre)
- Terrapex-environnement (2017) *Traitement des sols in Situ*. Terrapex environnement, Canada), <http://terrapex.ca/service-view/traitement-des-sols-in-situ/> (Consulté le 12 Décembre)
- Turner NR & Renegar DA (2017) Petroleum hydrocarbon toxicity to corals: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119(2):1-16.
- Udem (2017) *Montréal verse 780 000 \$ à l'IRBV pour dépolluer les sols par les plantes*. Université de Montréal, Québec), (Consulté le 14 Décembre)
- USITC (2004) Remediation and nature and landscape protection services: an examination of U.S. and foreign markets. (U.S. International Trade Commission, U.S), p 208.

VGQ (2016) Rapport du vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale pour l'année 2015-2016. États financiers consolidés du gouvernement et autres éléments d'intérêt. (Ministère des finances du Québec, agence du revenu du Québec, Québec), p 40.

Ville-de-Québec (2015) Sommaire décisionnel-DE2014-123. (Ville de Québec. Unité de développement économique, Québec), p 15.

Wuana RA & Okieimen FE (2011) Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology* 2011

## Annexe 1 Coûts estimatifs de décontamination des sols par région- Cas de l'Europe de l'ouest (Prokop *et al.*, 2000)

Pays et états	Coût estimatif/ million d'euro (1 euro= ~ 1,5 dollars)	Spécifications
Autriche	1 500	300 cas prioritaires
Belgique (Flandre)	6 900	Coût total de décontamination
Danemark	1 138	Coût total de décontamination
Finlande	900	Coût total de décontamination
Allemagne/la Bavière	2 500	Coût total de décontamination
Allemagne/Sarre	1 600- 2 600	Décontamination à grand échelle
Allemagne/ SchH	100	26 sites prioritaires
Allemagne/ Thuringe	178	Trois projets à grand échelle
Italie	510	1250 sites prioritaires
Pays bas	23 000 – 46 000	Coût total de décontamination
Norvège	375-500	700 sites prioritaires
Espagne	800	38 Mm <sup>3</sup> de sol et de 9 Mm <sup>3</sup> d'eau souterraine
Suède	3 532	Coût total de décontamination
Suisse	3 000	Coût total de décontamination
Royaume unis	13 000 - 39 000	10 000 ha de sol contaminé



## Annexe 2 Exemple d'activités internationales d'entreprises de traitement des sols

Entreprise	Activité internationale
Englobe : Biogénie (Gouvernement-Canada, 2017c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Expérience d'exportation au Belgique et au Royaume-Uni</li> <li>✓ Recherche active de marché avec la France</li> <li>✓ Total des ventes : De 25 000 000 à 49 999 999 dollars</li> <li>✓ Total des exportations : De 10 000 000 dollars à 24 999 999 dollars</li> </ul>
Sanexen Services environnementaux (Gouvernement-Canada, 2017d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Expérience d'exportation au États-Unis, en France et au Japon</li> <li>✓ Recherche active de marché avec L'Espagne et le Singapour</li> <li>✓ Total des ventes : &gt; 50 000 000 dollars</li> <li>✓ Total des exportations : De 1 000 000 à 4 999 999 dollars</li> </ul>

**ANNEXE 3 Liste des centres régionaux de traitement des sols contaminés  
autorisés au Québec pour usage public**

**Liste des centres régionaux de traitement de sols contaminés  
autorisés au Québec pour usage public**

Mise à jour : janvier 2018

**Région  
administrative  
Exploitants**

**Coordonnées  
Type de traitement**

Bas-Saint-Laurent  
(région 01)

**Centre de traitement BSL inc.**

375, rue de la Gare  
Saint-Anaclet (Qc) G0K 1H0  
(418) 725-0525  
Bioventilation

**Terrapure Environnement**

195, rue des Négociants  
Rimouski (Qc) G5M 1B7  
(418) 725-5135  
Bioventilation

Saguenay-Lac-St-Jean  
(région 02)

**RSI Environnement**

80, rue des Mélèzes  
Saint-Ambroise (Qc) G7P 2N4  
(418) 695-3302  
Désorption thermique

**Terrapure Environnement**

530, rang 6 Sud  
Saint-Bruno (Qc) G0W 2L0  
(418) 677-1078  
Bioventilation

**Terrapure Environnement**

3500, chemin des Sables  
Laterrière (Qc) G7N 1L9  
(418) 677-1078  
Bioventilation

Capitale-Nationale  
(région 03)

**Solution, division de Englobe Corp.**

15989, boul. de la Colline  
Lac-St-Charles (Qc) G0S 2W0  
1-866-653-3584

Bioventilation

**Solaction inc.**

16001, boul. de la Colline  
Québec (Qc) G2E 3K6  
(418) 841-4535

Bioventilation

**SolNeuf inc.**

1304, chemin du Site  
Neuville (Qc) G0A 2R0  
(418) 871-8001

Bioventilation

Mauricie  
(région 04)

**Horizon Environnement Inc.**

120, route 155  
Grandes-Piles (Qc) G0X 1H0  
1-800-545-7657

Biologique

Volatilisation

Oxydation/réduction

chimique

Estrie  
(région 05)

**Solution, division de Englobe Corp.**

855, rue Pépin  
Sherbrooke (Qc) J1L 2P8  
1-866-653-3584

Bioventilation

Chimique (inertage)

Montréal  
(région 06)

**Solution, division de Englobe Corp.**

8365, avenue Broadway Nord  
Montréal-Est (Qc) H1B 5X7  
1-866-653-3584

Bioventilation

**Énergie Carboneutre inc.**

8770, Place Marien  
Montréal-Est (Qc) H1B 5W6  
(514) 776-6853  
Volatilisation augmentée  
**Sanexen Services Environnementaux inc.**  
10 930, rue Sherbrooke Est  
Montréal-Est (Qc)  
514-942-0078  
Biodégradation  
Bioventilation  
Volatilisation

Outaouais  
(région 07)  
Aucun centre dans cette région

Abitibi-  
Témiscamingue  
(région 08)  
**Terrapure Environnement**  
1995, 3<sup>e</sup> avenue Est  
Val-d'Or (Qc) C.P. 85 J9P 4N9  
(819) 825-6683  
Bioventilation

Côte-Nord  
(région 09)  
**Véolia Services à l'environnement**  
51, boul. Comeau  
Baie-Comeau (Qc) G4Z 3A7  
(418) 296-3967  
Bioventilation  
**Enviro-Tech Manicouagan 2013 inc.**  
2264, avenue Du Labrador  
Baie-Comeau (Québec) G4Z 3C4  
(418)-296-9684  
Bioventilation  
**Sani-Manic Côte-Nord inc.**  
37, chemin de la Scierie  
Pointe-aux-Outardes (Qc) G0H 1M0  
1-866-589-2376  
Bioventilation  
**Solution, division de Englobe Corp.**  
Chemin entre le lac des Rapides et le lac  
Daigle  
Sept-îles (Québec)  
1-866-653-3584

Bioventilation  
Biodégradation  
**Pavage Béton TC Inc.**  
1984, rue Decoste  
Sept-îles (Québec) G4R 4K3  
(418)-968-2800  
Bioventilation

Nord-du-Québec  
(région 10)  
**Partenariat Biogénie-Umiak (Kuujuuaq)**  
4495, boul. Wilfrid-Hamel, bur. 200  
Québec (Qc) G1P 2J7  
1-800-267-4422  
Bioventilation

**LVM Inc.**  
(LET Ville de Chibougamau)  
121 chemin du Lac Dufault  
Chibougamau (Qc) G8P 1P1  
418-748-2688, poste 4001  
Bioventilation

Gaspésie-Îles-de-la-  
Madeleine  
(région 11)  
Aucun centre dans cette région

Chaudières-  
Appalaches  
(région 12)  
**Solution, division de Englobe Corp.**  
211, boul. Léon-Vachon  
St-Lambert-de-Lauzon (Qc) G0S 2W0  
1-866-653-3584  
Bioventilation

**Solution, division de Englobe Corp.**  
6815, route Marie-Victorin  
Ste-Croix-de-Lotbinière (Qc) G0S 2H0  
1-866-653-3584  
Bioventilation

Laval  
(région 13)  
Aucun centre dans cette région

Lanaudière  
(région 14)

**Signaterre Environnement inc.**

175, chemin de la Cabane Ronde  
Mascouche (Qc) J7K 3C1  
(450) 966-6088  
Biodégradation  
Bioventilation  
Oxydation chimique

Laurentides

(région 15)

**Stablex Canada nc.**

760, boulevard Industriel  
Blainville (Qc) J7C 3V4  
(450) 430-9230  
Chimique  
(encapsulation/solidification)

Montréal

(région 16)

**Northex Environnement inc.**

699, Montée de la Pomme d'Or  
Contrecoeur (Qc) J0L 1C0  
(450) 587-8877  
Biodégradation

Ségrégation physicochimique

**Solum Environnement (2010) inc.**

530, rue Bourgeois  
Saint-Amable (Qc) J0L 1N0  
(450) 649-7484  
Biodégradation  
Centre-du-Québec  
(région 17)

**Enfoui-Bec inc.**

18055, rue Gauthier  
Bécancour (Qc) G9H 1C1  
(819) 233-2443  
Bioventilation  
Biodégradation

**Solution, division de Englobe Corp.**

318, Route de la Grande-Ligne  
Saint-Rosaire (Qc) G0Z 1K0  
1-866-653-3584  
Bioventilation

Volatilisation