Environnement Canada

Région de l'Ontario

Direction générale de la protection de l'environnement

BATS SUR LES SITES CONTAMINÉS

Programme des sites contaminés - Sites Fédéraux

Ce bulletin fait partie d'une série de bulletins d'assistance technique (BAT) préparés par la région de l'Ontario d'Environnement Canada à l'intention des installations fédérales ayant des activités en Ontario.

BAT #22

Technologies d'assainissement *in situ* des lieux contaminés

DESCRIPTION:
Le présent document donne un aperçu des technologies d'assainissement *in situ* des sols contaminés. On y traite de technologies d'assainissement novatrices ainsi que de technologies ayant déjà fait leurs preuves. Le texte dresse un bref bilan de chaque technologie et discute de ses avantages, de ses désavantages, de ses limites ainsi que des contaminants traités.

1. ASSAINISSEMENT DES LIEUX

Tout programme d'assainissement des lieux comprend cinq étapes essentielles, soit :

- la détermination d'objectifs d'assainissement;
- la reconnaissance des technologies d'assainissement possibles;
- le choix d'une technologie d'assainissement privilégiée;
- la conception, la mise en oeuvre et la surveillance de l'assainissement; et
- la vérification de l'atteinte des objectifs d'assainissement.

2. TYPES DE TECHNOLOGIES D'ASSAINISSEMENT

En général, les technologies d'assainissement sont classées en quatre catégories, selon le processus agissant sur le contaminant. Les catégories sont les suivantes :

1. *Élimination :* processus qui retire physiquement le contaminant ou la matière contaminée du site sans qu'il soit nécessaire de séparer ce contaminant ou cette matière du matériau récepteur;
2. *Séparation :* processus qui extrait le contaminant du matériau récepteur (sol ou eau);
3. *Destruction :* processus qui détruit le contaminant par voies chimiques ou biologiques ou qui neutralise le contaminant afin de produire des composés moins toxiques;
4. *Captation :* processus qui gêne ou freine la migration du contaminant à la surface et dans la subsurface.

L'élimination, la séparation et la destruction sont des processus qui éliminent le contaminant ou qui en réduisent la quantité. Pour leur part, les technologies de captation contrôlent la migration du contaminant vers des récepteurs sensibles sans toutefois éliminer le contaminant ou en réduire la quantité.

Certaines technologies dites « conventionnelles » sont utilisées commercialement dans d'autres secteurs industriels, mais ont été adaptées aux fins d'assainissement. D'autres, dites « novatrices », ont

été élaborées expressément pour répondre aux besoins d'assainissement des lieux.

De nombreux facteurs influencent la sélection des technologies d'assainissement possibles, notamment :

- le type de contaminant et ses caractéristiques (propriétés, volume, emplacement, risque d'exposition);
- les caractéristiques du site (type de sols, perméabilité, propriétés des eaux de surface et des eaux souterraines, climat, infrastructures, topographie, emplacement);
- les coûts (coût des investissements, coûts d'exploitation, coûts d'entretien);
- le degré d'acceptation de la technologie par les législateurs et par le public; et
- le calendrier d'assainissement.

Les principaux facteurs susceptibles d'influencer le choix de chaque technologie apparaissent sous les rubriques Avantages et Désavantages correspondantes.

3. ATTÉNUATION NATURELLE

L'atténuation naturelle désigne les processus qui agissent sur un contaminant afin d'en réduire les concentrations dans le milieu ambiant. Ces processus peuvent inclure la dilution, la volatilisation, la biodégradation, l'adsorption et les réactions chimiques. Bien que l'atténuation naturelle ne soit pas une technologie en soi, elle a été employée sur des sites offrant de faibles perspectives de migration des contaminants ainsi que dans des lieux où le recours à d'autres mesures d'assainissement s'avérait peu pratique.

Technologie : Destruction *in situ*
État : Conventionnel
Contaminants :

- Composés volatils et semi-volatils non halogénés; hydrocarbures pétroliers.
- Moins efficace pour certains composés volatils et semi-volatils halogénés ainsi que pour les pesticides.

Avantages :

- Aucune manutention de matières contaminées pouvant poser un risque pour les travailleurs.
- Aucune perturbation du site; coût des investissements nul.
- Peut constituer une solution permanente.

Désavantages :

- Modélisation et surveillance à long terme généralement requises.
- Les produits de dégradation risquent d'être plus mobiles et toxiques que le contaminant d'origine.
- Risque que les contaminants complètent leur migration vers les récepteurs sensibles avant de faire l'objet de mesures d'atténuation.
- Faible degré d'acceptation par les législateurs et par le public, car cette technologie pourrait être perçue comme une solution de « laisser-aller ».

4. BIODÉGRADATION *IN SITU*

La biodégradation prévoit la stimulation des microbes naturels afin qu'ils convertissent les contaminants en composés moins toxiques, tels que le dioxyde de carbone ou l'eau. On ajoute des éléments nutritifs et de l'oxygène pour accentuer le phénomène.

Technologie : Destruction *in situ*
État : Novateur
Contaminants :

- Composés volatils et semi-volatils non halogénés; hydrocarbures pétroliers.
- Moins efficace pour certains composés volatils et semi-volatils halogénés ainsi que pour les pesticides.

Avantages :

- Perturbation minimale du site; coût des investissements peu élevé.
- Peut constituer une solution permanente.
- Fort degré d'acceptation par le public.

Désavantages :

- La mobilité des contaminants risque de s'accroître sous l'effet des microbes.
- Inefficace dans les subsurfaces hautement stratifiées, argileuses ou rocheuses.
- Inefficace sur les sites à forte concentration de métaux lourds, de sels inorganiques ou de composés organochlorés.
- Faible degré d'acceptation par les législateurs à cause du risque de mobilité des contaminants.
- L'assainissement peut s'échelonner sur plusieurs mois ou plusieurs années.
- Non rentable pour de petits volumes.

5. BIOAÉRATION

La bioaération est une forme de biodégradation selon laquelle l'oxygène est introduit sous forme d'air dans des sols contaminés, mais non saturés, au moyen d'un système de puits d'extraction et d'injection. Contrairement à la technique d'extraction des vapeurs du sol, cette technologie utilise les taux de débit d'air de manière à tout juste fournir l'oxygène nécessaire pour accentuer la biodégradation, tout en minimisant la volatilisation des contaminants dans l'atmosphère.

Technologie : Destruction *in situ*
État : Novateur
Contaminants :
- Composés volatils et semi-volatils non halogénés; hydrocarbures pétroliers.
- Moins efficace pour certains composés volatils et semi-volatils halogénés ainsi que pour les pesticides.

Avantages :
- Meilleur débit d'oxygène dans des formations moins perméables.
- Perturbation minimale du site; coût des investissements, coûts d'exploitation et coûts d'entretien peu élevés.
- Peut constituer une solution permanente.
- Degré moyen à élevé d'acceptation par les législateurs et par le public.
- Aucun traitement des effluents gazeux s'il existe un système d'exploitation fermé.

Désavantages :
- À déconseiller lorsque la nappe phréatique se situe près de la surface.
- Il pourrait s'avérer nécessaire de surveiller les effluents gazeux à la surface du sol.
- L'assainissement peut s'échelonner sur plusieurs mois ou plusieurs années.

6. EXTRACTION DES VAPEURS DU SOL

L'extraction des vapeurs du sol est un processus d'induction d'air dans les sols non saturés qui vise à en retirer les contaminants volatilisés. Le flux d'air est induit en appliquant au sol une pompe à vide, au moyen d'un réseau de puits d'extraction. La technologie convient aux composés qui deviennent volatils lorsque soumis à de fortes pressions de vapeur. Elle nécessite un système de traitement des effluents gazeux. Il est possible d'accentuer la volatilisation en réchauffant la subsurface par injection d'air chaud ou par envoi de décharges électriques localisées.

Technologie : Séparation *in situ*
État : Novateur
Contaminants :
- Composés volatils; hydrocarbures pétroliers.

Avantages :
- Le fait de contrôler la migration des vapeurs vers les structures contribue à réduire le risque d'inhalation et d'explosion.
- Perturbation minimale du site; coût des investissements peu élevé.
- Peut constituer une solution permanente.
- Fort degré d'acceptation par les législateurs et par le public si les effluents gazeux sont traités.

Désavantages :
- Volatilisation gênée lorsque le sol affiche une haute teneur en humus.
- Convient surtout aux sols homogènes relativement perméables.
- Nécessité d'évacuer le liquide résiduel provenant de l'air traité.
- L'amélioration de la volatilisation par des voies thermiques risque de stériliser la subsurface, tuant les microbes nécessaires à la biodégradation.
- Coûts d'exploitation et d'entretien élevés.
- L'assainissement peut s'échelonner sur plusieurs mois ou plusieurs années.

7. SOLIDIFICATION ET STABILISATION

Lors de la solidification ou de la stabilisation, les contaminants sont physiquement ou chimiquement fixés au milieu dans le but d'obtenir un matériau non produit par lixiviation. Les agents liants couramment utilisés comprennent le ciment, la chaux, les polymères organiques et les silicates. La technologie peut s'appliquer *in situ* ou *ex situ*. Des installations commerciales offrent également des services hors site.

Technologie : Captation *in situ* et *ex situ*
État : Conventionnel
Contaminants :
- Inorganiques.
- Moins efficace pour certains composés semi-volatils ainsi que pour les pesticides.

Avantages :

- La plupart des sols peuvent être traités.
- Délai de nettoyage relativement court.
- Coûts d'exploitation et d'entretien peu élevés.

Désavantages :

- L'immobilisation permanente des contaminants organiques ne peut être assurée.
- Les composés organiques pourraient nuire aux agents liants.
- L'ajout d'agents solidifiants risque de gonfler le volume des matières contaminées (augmentation de 50 à 100 %).
- Coût élevé des investissements.

8. RECOUVREMENT EN SURFACE (encapsulation)

La technologie de recouvrement en surface prévoit le dépôt d'un revêtement imperméable sur le sol afin d'isoler les contaminants à la surface et de réacheminer la percolation des eaux de surface vers des points éloignés de la zone contaminée. Les capuchons de surface sont habituellement faits de membranes synthétiques, d'un mélange sol-bentonite, d'asphalte, d'acier ou de béton. L'encapsulation est une variante du recouvrement en surface en vertu de laquelle des barrières imperméables sont dressées verticalement autour, voire sous les sols contaminés, afin de réacheminer les eaux souterraines vers d'autres lieux.

Technologie : Captation *in situ*
État : Conventionnel
Contaminants :

- Tous genres.

Avantages :

- Facile à installer.
- Réduit le risque que le public soit exposé aux contaminants ou vienne en contact avec ces derniers.
- Coûts d'exploitation et d'entretien peu élevés.

Désavantages :

- Nécessite un engagement à long terme.
- Besoin éventuel d'assurer un entretien et une surveillance périodiques.
- Il pourrait s'avérer nécessaire de réglementer le débit des eaux souterraines.

9. PHYTO-EXTRACTION

La phyto-extraction est une technologie relativement nouvelle qui exploite la propriété qu'ont certaines plaines d'absorber de grandes quantités de métaux lourds, qu'elles conservent ensuite dans leurs racines et leurs pousses. La phyto-extraction prévoit la sélection et la culture de plantes qui conviennent au sol et au climat que l'on retrouve dans la zone contaminée. Par rapport aux espèces normales, ces plantes pourront accumuler des métaux dans une proportion jusqu'à mille fois supérieure. Leurs pousses pourront être récoltées et traitées plus tard en tant que déchets.

Technologie : Extraction *in situ*
État : En développement
Contaminants :

- Inorganiques.

Avantages :

- Coût des investissements, coûts d'exploitation et coûts d'entretien peu élevés.
- Permet de traiter de vastes zones de sol contaminé.

Désavantages :

- La démarche s'échelonne sur de longues périodes.
- Il s'agit d'une technologie qui n'est pas encore reconnue pour fins de traitement à grande échelle.
- La couche de traitement se limite à la profondeur des racines.
- Inefficace pour des sols fortement contaminés.
- Les plantes doivent être enlevées et convenablement évacuées.

10. ESTIMATION DES COÛTS

Le **tableau 1** évalue le coût des investissements, les coûts d'exploitation et les coûts d'entretien de certaines technologies d'assainissement individuelles décrites ci-dessus.

TABLEAU 1. COÛT DE L'ASSAINISSEMENT DU SOL

Technologie d'assainissement	Type	État	Coûts [1]
Atténuation naturelle	Destruction *in situ*	Conventionnel	Coût des investissements, coûts d'exploitation et coûts d'entretien nuls; coûts d'échantillonnage, d'analyse, de modélisation et de surveillance
Biodégradation	Destruction *in situ*	Novateur	150 à 450 $ / tonne au titre de la conception, de l'installation, de l'exploitation et de l'entretien [2]
Bioaération	Destruction *in situ*	Novateur	30 $ / m^3 au titre de l'exploitation et de l'entretien [2]
Extraction des vapeurs du sol	Séparation *in situ*	Novateur	25 000 à 50 000 $ au titre de la conception et de l'installation; 75 $ / tonne au titre de l'exploitation et de l'entretien [3]
Solidification et stabilisation	Captation *in situ* et *ex situ*	Conventionnel	70 à 200 $ / tonne au titre de l'exploitation et de l'entretien [3]

Remarques :

1. Les coûts sont sujets à changement et ont, dans bien des cas, diminué au cours des dernières années.
2. U.S. Environmental Protection Agency (1993). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. Version I.

Taux de change : 1,00 $ É.-U. = 1,40 $ Can.

3. Institut canadien des produits pétroliers (1991). *Manual of Petroleum Contaminated Soil Treatment Technologies*. Rapport n° 91-9.

SOURCES

Conseil canadien des ministres de l'environnement (1994). *Manuel d'évaluation de la subsurface des lieux contaminés*.

Institut canadien des produits pétroliers (1991). *Manual of Petroleum Contaminated Soil Treatment Technologies*. Rapport n° 91-9.

Malroz Engineering Inc. (1994). *Evaluation of Remediation Options for Petroleum Contaminated Sites*.

Malroz Engineering Inc. (1996). *Site Investigation and Remediation of Contaminated Sites.* Notes de cours.

U.S. Environmental Protection Agency (1994). *Innovative Treatment Technologies.* Rapport d'étape annuel. Sixième édition.

U.S. Environmental Protection Agency (1993). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. Version I.

U.S. Environmental Protection Agency (1994). *Superfund Innovative Technology Evaluation Program, Technologies Profiles*. Septième édition.

Western States Petroleum Association (1990). *Onsite Treatment of Hydrocarbon Contaminated Soils*.

Pour de plus amples renseignements, veuillez vous adresser à:

Environnement Canada
Région de l'Ontario - Direction générale de la protection de l'environnement
Division des programmes nucléaires et des contaminants de l'environnement
4905 rue Dufferin
Downsview, ON M3H 5T4
Téléphone: (416) 739-4826
Télécopieur: (416) 739-4405

On peut trouver nos BAT sur les sites contaminés sur Internet à l'adresse suivante :
http://www.on.ec.gc.ca/pollution/ecnpd/