

TERRAINS CONTAMINÉS



LIGNES DIRECTRICES POUR

LE TRAITEMENT DE SOLS

PAR BIODÉGRADATION, BIOVENTILATION

OU VOLATILISATION

LIGNES DIRECTRICES
POUR LE TRAITEMENT DE SOL
PAR BIODÉGRADATION, BIOVENTILATION OU VOLATILISATION

DIRECTION DES POLITIQUES DU SECTEUR INDUSTRIEL
SERVICE DES LIEUX CONTAMINÉS

Ministère de l'Environnement

NOVEMBRE 1999

Conception : Rock Bégin
 André Prus

Rédaction : Rock Bégin

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2. CONCEPTS DE BASE ET APPLICATION	3
2.1 BIODÉGRADATION	4
2.2 BIOVENTILATION	4
2.3 VOLATILISATION	5
2.4 APPLICATION.....	5
3. CATÉGORIES DE PROJETS.....	10
3.1 DÉVELOPPEMENT	10
3.2 DÉMONSTRATION.....	10
3.3 APPLICATION À GRANDE ÉCHELLE	10
4. EXIGENCES LÉGALES ET RÉGLEMENTAIRES.....	11
5. LIGNES DIRECTRICES	14
5.1 PRINCIPES	14
5.2 DÉMONSTRATION.....	16
5.2.1 Directives particulières	16
5.2.2 Contenu d'un projet de démonstration	17
5.3 APPLICATION À GRANDE ÉCHELLE	19
5.3.1 Directives communes aux trois techniques.....	19
5.3.2 Directives particulières pour l'utilisation in situ	20
5.3.3 Directives particulières pour l'utilisation hors-terre	21
5.3.4 Demande de certificat d'autorisation.....	21
5.4 CONTRÔLE ET SUIVI	21
RÉFÉRENCES	26
ANNEXE 1	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Paramètres d'applicabilité	6
Tableau 2	Autorisations requises selon le type de projet	12
Tableau 3	Paramètres de contrôle du procédé	24
Tableau 4	Suivi de l'efficacité du traitement	25

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

À la fin des années 1970, le principe de la biodégradabilité des hydrocarbures était déjà appliqué au Québec. À cette époque, le premier projet de traitement dit biologique référé au ministère de l'Environnement par l'industrie pétrolière visait la décontamination de boues huileuses. La méthode de traitement alors utilisée s'apparentait à la technique de *landfarming*. Elle consistait à épandre les boues huileuses sur le sol avec des engrais et à labourer ces sols périodiquement. Cette pratique associée au principe de biodégradation passive a été limitée à la fin des années 1980 par le Ministère, compte tenu de l'absence de contrôle rigoureux lié à cette pratique, des possibilités de transfert des contaminants dans l'air et dans l'eau et de l'effet inacceptable de dilution avec les sols sous-jacents, entraînant une augmentation de la contamination du terrain récepteur.

À la suite du resserrement des directives du Ministère en matière de traitement biologique des sols¹, certaines firmes québécoises, conscientes du marché potentiel de la décontamination des sols, ont entrepris au début des années 1990 de démontrer au Québec l'efficacité des techniques par bioventilation et par volatilisation pour le traitement des sols contaminés par des hydrocarbures. Cette prise de conscience s'est inscrite dans le contexte de la modification du Règlement sur les produits pétroliers [U-1.1,r.1]² et dans la foulée des expériences européennes et américaines en la matière^{3,4}.

Cette initiative a donné lieu à la mise en place d'une vingtaine de centres régionaux de traitement par bioventilation de sols contenant des hydrocarbures légers et à la réalisation de plusieurs projets particuliers de traitement par bioventilation pour des sols en pile ou avec les techniques de bioventilation ou de volatilisation pour des sols non excavés (*in situ*). La technique de bioventilation consiste en une utilisation simultanée ou séquentielle des principes de la biodégradation en milieu aérobie (dégradation des hydrocarbures par des microorganismes) et de la volatilisation (extraction des composés volatils en phase gazeuse).

1 Ministère de l'Environnement du Québec, 1989.

2 Gouvernement du Québec, 1992.

3 Hinchee, R.E. et R.F. Olfenbuttel, 1991.

4 Hinchee, R.E. *et al*, 1993.

OBJECTIFS

Compte tenu du nombre croissant des demandes adressées au ministère de l'Environnement et de la Faune pour évaluer et autoriser ces types de projets, le Service des lieux contaminés de la Direction des politiques du secteur industriel a proposé en 1996 des lignes directrices dans le but d'établir les paramètres de contrôle et de suivi de l'efficacité des systèmes proposés et de faciliter l'évaluation de chacun des projets. Ces lignes directrices ont été revues et elles font place au présent document. Le Ministère se dote ainsi d'un outil de travail pour uniformiser l'évaluation des projets de traitement, soit par biodégradation, soit par bioventilation ou par volatilisation.

Ces lignes directrices visent particulièrement à encadrer l'utilisation des techniques de biodégradation, de bioventilation et de volatilisation pour traiter des sols contaminés par des hydrocarbures. On entend par hydrocarbures, les produits pétroliers tels que l'essence, le carburant diesel, les carburants d'aviation (essence d'aviation, carburacteur ou kérosène), les mazouts dont l'huile à chauffage, les huiles et graisses minérales, les solvants et les contaminants répertoriés dans les classes III, IV, V, VI, VIII, X, XI et XII de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés⁵ correspondant notamment aux composés organiques volatils (III), composés phénoliques (IV), hydrocarbures aromatiques polycycliques (V) et autres hydrocarbures chlorés ou non chlorés dont les hydrocarbures C₁₀-C₅₀.

Le document s'adresse principalement aux promoteurs de techniques de traitement des sols et aux propriétaires de terrains contaminés afin de leur préciser les directives du Ministère à l'égard de l'utilisation de ces techniques au Québec. Il se veut également un outil pour les représentants du Ministère responsables de l'évaluation et de l'autorisation de ces projets.

Les objectifs spécifiques visés par les lignes directrices sont les suivants :

- Définir et distinguer les techniques de biodégradation, de bioventilation et de volatilisation ainsi que leur mode d'application *in situ* ou hors-terre;
- Identifier les paramètres de contrôle du procédé et de suivi de l'efficacité des trois techniques;
- Encadrer les étapes de démonstration et d'utilisation à grande échelle des trois techniques de traitement de manière à pouvoir vérifier leur efficacité réelle de décontamination et à assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement.

Ce document intègre et remplace les *Lignes directrices pour les projets de démonstration de technologies de traitement par biodégradation de sols contenant*

⁵ Ministère de l'Environnement du Québec, 1998.

des hydrocarbures légers d'avril 1991⁶ et le document préliminaire de juillet 1989 intitulé *Procédure à suivre pour les projets de biodégradation par épandage et en pile de sols contaminés*¹.

Le document est subdivisé en cinq parties dont voici une brève description des sections suivantes.

La section 2 présente les concepts de base des trois techniques de traitement et leur champ d'application.

La section 3 établit la distinction entre les niveaux de développement, de démonstration et d'application à grande échelle d'une technique de traitement pour restaurer un terrain contaminé.

La section 4 précise les exigences légales et réglementaires relatives aux projets de démonstration et aux projets de traitement à grande échelle.

Enfin, la section 5 présente les directives relatives à la démonstration et à l'application à grande échelle des techniques de biodégradation, de bioventilation et de volatilisation ainsi que les directives particulières à chacune d'elles lorsqu'elles sont appliquées *in situ* ou hors-terre.

2. CONCEPTS DE BASE ET APPLICATION

La biodégradation, la bioventilation et la volatilisation sont trois techniques de traitement de plus en plus utilisées pour traiter des sols contaminés par des hydrocarbures. Ils s'apparentent par l'utilisation commune du principe de ventilation des sols, soit pour extraire les hydrocarbures volatils du sol (volatilisation) ou pour transporter l'oxygène nécessaire au métabolisme microbien capable de transformer les hydrocarbures moins volatils en biomasse, en gaz carbonique et en eau (biodégradation). Un traitement qui combine l'utilisation de la volatilisation et de la biodégradation est appelé bioventilation.

Lorsqu'elles sont appliquées *in situ* dans la zone saturée, les techniques de bioventilation et de volatilisation sont appelées respectivement biobarbotage (*bio-sparging*) et barbotage (*sparging*).

⁶ Ministère de l'Environnement du Québec, 1991.

2.1 Biodégradation

Le principe de biodégradation réfère au processus de dégradation des composés à base de carbone effectué par des microorganismes. Cette dégradation s'effectue en présence ou en l'absence d'oxygène. En présence d'oxygène (milieu aérobie), elle consiste en la minéralisation des composés carbonés, principalement les hydrocarbures, ultimement en dioxyde de carbone, eau, composés inorganiques et protéines cellulaires. En condition anaérobie, soit en l'absence d'oxygène, l'activité métabolique des microorganismes adaptés produit des substances organiques simples non complètement oxydées telles que des acides organiques et d'autres composés comme le méthane et l'hydrogène gazeux.

Cependant, les conditions du milieu peuvent faire en sorte que les composés organiques ne sont pas complètement dégradés mais seulement transformés en produits intermédiaires⁷ qui peuvent être, selon le cas, moins, également ou plus toxiques que les composés d'origine. Des bioessais peuvent être utilisés pour évaluer la toxicité des produits intermédiaires et des contaminants résiduels par rapport aux contaminants d'origine.

Les techniques de traitement de sol faisant appel au principe de biodégradation consistent à contrôler les conditions du milieu de manière à optimiser la croissance et le maintien d'une population de microorganismes capable de métaboliser et de dégrader les hydrocarbures. Ces techniques ont pour effet d'accélérer le processus de dégradation naturel. Elles sont reconnues plus efficaces en condition aérobie pour la plupart des hydrocarbures⁷. L'oxygène contenu dans l'air agit comme accepteur d'électrons dans le processus de dégradation par voie biologique. Le principe s'applique à des sols excavés ou *in situ*.

2.2 Bioventilation

Le terme bioventilation se rapporte à l'utilisation simultanée ou séquentielle des principes ou processus de volatilisation et de biodégradation aérobie. Cette technique consiste à faire circuler de l'air à travers le sol pour en extraire les composés organiques les plus volatils (volatilisation) et à conditionner les sols pour les rendre propices au développement des microorganismes capables de biodégrader les composés organiques moins volatils (biodégradation). Le débit d'air dans le sol peut être ajusté pour favoriser la volatilisation des contaminants ou leur biodégradation.

⁷

King, R. B. *et al*, 1992

2.3 Volatilisation

Le concept de base de la technique de volatilisation consiste à extraire les composés volatils des sols non saturés. Cette technique s'applique à des sols excavés ou *in situ*. Dans le cas d'application *in situ*, les composés volatils sont extraits de la zone non saturée et sont dirigés vers la surface par des puits d'extraction, pour être soit décomposés dans une chambre à combustion, soit biodégradés dans un biofiltre, adsorbés sur du charbon activé ou encore condensés par réfrigération. Des puits d'apport d'air passif ou actif peuvent être installés pour diriger la circulation d'air à travers les zones moins perméables de la matrice de sols contaminés. L'injection d'air chaud ou de vapeur d'eau peut également être utilisée pour favoriser l'extraction des composés moins volatils étant donné que la pression de vapeur des composés est directement proportionnelle à la température du milieu.

Lorsque le principe de volatilisation est employé pour enlever les composés volatils de la zone saturée du sol ou de l'eau souterraine, la technique est appelée barbotage (*air sparging*). Il s'agit d'un processus d'injection d'air dans l'eau souterraine contaminée de manière à transférer les contaminants volatils de la phase liquide vers la phase gazeuse, soit de la zone saturée vers la zone non saturée, d'où ils peuvent ensuite être acheminés vers la surface par des puits d'extraction. Une variante de cette technique, appelée bio-barbotage (*biosparging*), s'apparente à la technique de bioventilation utilisée dans la zone saturée. En plus de l'air, des engrais sont introduits dans l'eau souterraine de manière à favoriser la biodégradation des composés moins volatils.

2.4 Application

Comme il a été mentionné précédemment, les techniques de biodégradation, de bioventilation et de volatilisation s'appliquent autant à des piles de sol excavés qu'à des sols en place (*in situ*). Cependant, deux questions se posent, à savoir quelle technique choisir et dans quelles situations il est préférable de les utiliser, soit pour traiter des sols *in situ* ou pour traiter des sols excavés?

Le choix de la technique la plus appropriée à une situation particulière est fait sur la base des facteurs qui influencent significativement le traitement. En ce sens, le tableau 1 présente ces facteurs, leurs unités de mesure et certaines valeurs souhaitables disponibles selon la documentation récente relative à l'utilisation des techniques de biodégradation, de bioventilation et de volatilisation.

TABLEAU 1 : PARAMÈTRES D'APPLICABILITÉ

NATURE DU TRAITEMENT	PARAMÈTRES D'APPLICABILITÉ	UNITÉ DE MESURE	ÉVALUATION AVANT LE TRAITEMENT ET VALEURS SOUHAITABLES	CONSIDÉRATIONS	
<p>TECHNIQUES UTILISANT LE PRINCIPE DE LA BIODÉGRADATION</p> <p>SOIT:</p> <p>BIODÉGRADATION</p> <p>BIOVENTILATION</p> <p>BIOBARBOTAGE (in situ)</p>	CONTAMINANTS (C)				
	C1	Nature et importance des contaminants dont les huiles et graisses minérales dans le sol	%	(<3)	Par expérience, les hydrocarbures pétroliers C ₁₀ -C ₅₀ dans le sol sont inférieurs à 3 %, valeur moyenne maximale.
	C2	Biodégradabilité	%	√	La biodégradabilité est déterminée par des essais en laboratoire soit le plus souvent en flacon (hydrocarbures extractibles) ou en réacteur.
	C3	Solubilité	mg/L	(>1 000) ⁸	
	C4	Composés inhibiteurs	mg/Kg	√	Les composés inhibiteurs suspectés tels que les métaux, les composés organiques chlorés, les pesticides, les herbicides, les sels inorganiques sont analysés selon le cas.
	SOL (S)				
	S1	Granulométrie	%	√	Le contenu en argile est déterminé selon le diamètre des particules (<0,002 mm) de sol. Par expérience, le sol contient moins de 25 % d'argile.
	S2	Carbone organique total (COT)	% (sol) mg/L (eau)	√ (10-1000) ⁹	Le COT dans le sol influence, entre autres, l'adsorption des contaminants et la capacité de rétention d'eau. Le COT dans l'eau souterraine (biobarbotage in situ).
	S3	Capacité de rétention d'eau	%	(40-70) ¹⁰	
	S4	Porosité	%	(>10) ¹¹	

- Références:
- 8 U.S. EPA, 1990, EPA/600/2-90/011
 - 9 U.S. EPA, 1990, EPA/600/2-90/027
 - 10 U.S. EPA, 1993, EPA/600/R-93/164
 - 11 U.S. EPA, 1993, EPA/540/5-93/501

√ : Moment proposé de l'évaluation en l'absence d'indication de valeur souhaitable

TABLEAU 1 : PARAMÈTRES D'APPLICABILITÉ (suite)

NATURE DU TRAITEMENT	PARAMÈTRES D'APPLICABILITÉ	UNITÉ DE MESURE	ÉVALUATION AVANT LE TRAITEMENT ET VALEURS SOUHAITABLES	CONSIDÉRATIONS	
TECHNIQUES UTILISANT LE PRINCIPE DE LA VOLATILISATION SOIT : VOLATILISATION BIOVENTILATION BARBOTAGE (in situ) BIOBARBOTAGE (in situ)	CONTAMINANTS (C)				
	C3	Solubilité	mg/L	(<100) ⁸	La solubilité est directement proportionnelle à la température.
	C5	Pression de vapeur	mm Hg à 20 °C	(>0,5) ¹²	La pression de vapeur est directement proportionnelle à la température.
	C6	Constante d'Henry	à 20 °C	(>0,01) ¹³	La constante d'Henry est directement proportionnelle à la température. (0,01 = 100 atm. m ³ /mole).
	C7	Limite inférieure d'inflammabilité (LII)	%	(10) ¹⁴	
	SOL (S)				
	S1	Granulométrie	%	√	Le contenu en argile est déterminé selon le diamètre des particules (<0,002 mm) de sol. Par expérience, le sol contient moins de 25 % d'argile.
	S2	Carbone organique total (COT)	% (sol) mg/L (eau)	(<5) (10-1000) ⁹	Idéalement, moins de 5 % de COT dans le sol et entre 10 et 1000 ppm dans l'eau souterraine (barbotage in situ).
	S4	Porosité	%	(>40) ¹⁵	
	S5	Perméabilité à l'air	cm/sec	(>10 ⁻⁴) ⁸	
	S6	Perméabilité à l'eau	cm/sec	(>10 ⁻³) ¹³	Le Fe ⁺² contenu dans l'eau est idéalement inférieur à 2 ppm afin de limiter le colmatage des puits d'aspiration ¹⁵ (in situ).
	S7	Capacité d'adsorption du sol	m ² /g	(<0,1) ⁸	La capacité d'adsorption est principalement fonction de la surface spécifique du sol.
	S8	Humidité relative	%	√	
	S9	Profondeur de la zone non saturée (in situ)	m	(>3) ¹⁶	Une surface imperméable est généralement requise lorsque la profondeur de la zone non saturée est inférieure à 3 m.
	Références :	12 BENNEDSEN, M.B. et al., 1985 13 DANKO, J., 1989 14 Gouvernement du Québec, 1996		15 MICHEALS, P.A., M.K. STINSON, 1989 16 JOHNSON, P.C. et al, 1993	√ : Moment proposé du contrôle en l'absence d'indication de valeur souhaitable

De façon particulière, sur la base des données de ce tableau, il faut retenir les éléments suivants concernant les principaux facteurs associés aux contaminants, au sol et aux microorganismes, à l'appui du choix de la meilleure technique et d'une application *in situ* ou hors-terre :

- Contaminants

Parmi les caractéristiques des contaminants visés par un traitement, la pression de vapeur constitue le facteur le plus important en rapport avec la technique de volatilisation tout comme la biodégradabilité l'est pour la technique de biodégradation. La bioventilation étant une combinaison des deux techniques précédentes, les facteurs importants qui s'y rapportent la concernent également.

- Sol

Les caractéristiques du sol sont importantes lors du choix de l'une des trois techniques précédemment identifiées. C'est le cas principalement de la granulométrie, qui influence directement la perméabilité à l'air et la capacité de rétention d'eau. En effet, un sol sableux plus perméable à l'air qu'un sol argileux rend plus facile l'extraction des contaminants volatils par la technique de volatilisation. De plus, sachant que l'apport d'oxygène nécessaire au processus de biodégradation aérobie est distribué dans le sol par la circulation d'air, un sol contenant une proportion importante d'argile sera moins propice à la biodégradation qu'un sol plus perméable.

D'autre part, le contenu en carbone organique est aussi important. Il influence la capacité d'adsorption des contaminants dans le sol et la capacité de rétention d'eau du sol. Ces deux facteurs ont un effet significatif sur les techniques de traitement concernées. Une capacité d'adsorption importante rend plus difficile l'extraction des contaminants en phase gazeuse et une trop forte capacité de rétention d'eau réduit l'activité des microorganismes aérobies en limitant le transport de l'oxygène.

- Microorganismes

Les facteurs limitants identifiés ci-après sont ceux qui sont reconnus comme ayant un effet inhibiteur sur la croissance des microorganismes capables de biodégrader les contaminants. Ils se rapportent donc aux techniques de traitement par biodégradation, bioventilation et biobarbotage.

Outre les concentrations trop élevées des contaminants visés par un traitement biologique, une présence en quantité importante de métaux, de composés organiques fortement chlorés, de pesticides et d'herbicides ou de sels inorganiques peut être toxique pour les microorganismes. À cela s'ajoute l'ensemble des autres facteurs identifiés au tableau 1 concernant la biodégradation, lorsque les valeurs qui y sont associées s'écartent trop des valeurs

souhaitables ou lorsque les conditions optimales pour la croissance microbienne ne sont pas maintenues.

- Application *in situ* et hors-terre

La plupart du temps, ce sont les coûts associés aux différentes techniques de traitement qui en influencent le choix. Cependant, d'un point de vue de protection environnementale, le ministère de l'Environnement (MENV) favorise les techniques de traitement efficaces qui présentent les meilleurs contrôles, qui génèrent le moins de résidus et qui sont les moins susceptibles de contaminer l'environnement immédiat.

D'une part, compte tenu du fait qu'une pile de sol excavé et confiné hors-terre s'apparente beaucoup à un réacteur, l'établissement et le maintien des conditions favorables à la croissance microbienne ainsi que le suivi de l'efficacité d'un traitement hors-terre sont plus faciles à réaliser que dans le cas d'un traitement *in situ*.

D'autre part, le fait de traiter *in situ* des sols contaminés par des contaminants volatils présente l'avantage d'éliminer les pertes de ces composés à l'atmosphère lors de la manipulation des sols, principalement lors de leur excavation et leur transport, et d'éliminer également les coûts d'excavation. Le traitement *in situ* est particulièrement approprié lorsque les sols contaminés occupent de grandes surfaces ou se retrouvent en profondeur, dans la zone saturée ou sous des bâtiments. D'ailleurs, l'utilisation des techniques *in situ* est généralement envisagée lorsque l'excavation des sols contaminés s'avère difficile ou lorsque les coûts qui leur sont associés sont du même ordre de grandeur ou inférieurs aux coûts d'un traitement hors-terre. De plus, l'accessibilité du lieu et la compatibilité de l'activité de traitement avec les contraintes d'infrastructure et d'usage doivent également être pris en compte.

La présence d'eau souterraine est aussi considérée lors de l'application d'une technique de traitement *in situ*. Il est possible que le niveau de la nappe phréatique doive être abaissé par un réseau de puits approprié lorsque les techniques de volatilisation et de bioventilation sont envisagées. Dans certains cas, l'injection d'air directement dans l'eau souterraine permet d'en extraire les composés volatils, lesquels sont transférés dans la zone non saturée pour être ensuite aspirés vers la surface, où ils peuvent être traités. Ce principe, appelé barbotage (*air sparging*), constitue une variante de la technique de volatilisation. De la même manière, le principe de biobarbotage (*bio-sparging*) peut être utilisé pour extraire les composés volatils dans la zone saturée et favoriser la biodégradation des composés organiques moins volatils dans cette zone saturée en ajoutant des nutriments dans l'eau souterraine. Ce dernier principe s'apparente à la technique de bioventilation, mais appliquée dans une zone saturée.

Dans tous les cas d'application *in situ* et particulièrement en milieu urbain, où les

sols sont les plus souvent hétérogènes, une grande importance est accordée à la caractérisation du terrain de manière à s'assurer que la zone de contamination est bien délimitée et faciliter l'évaluation de l'atteinte des objectifs de décontamination.

3. CATÉGORIES DE PROJETS

Une distinction est faite entre les trois niveaux de réalisation d'un projet de traitement. Il y a d'abord le niveau du développement, ensuite le niveau de démonstration, puis le niveau d'application à grande échelle, apparenté à une exploitation commerciale.

3.1 Développement

Les projets de développement, tels qu'ils sont considérés dans les présentes lignes directrices, réfèrent essentiellement aux essais en laboratoire effectués à des échelles réduites, le plus souvent en colonne ou en réacteur, afin de vérifier les principes théoriques du traitement envisagé. Cette étape vise la modélisation préliminaire du procédé ainsi que la détermination et l'ajustement des paramètres de conception et de fonctionnement du système. Elle vise également la caractérisation et la quantification des intrants et des extrants de manière à pouvoir évaluer l'efficacité du procédé et son impact environnemental. **Les projets à l'étape du développement ne sont pas visés par les présentes lignes directrices.**

3.2 Démonstration

Cette catégorie de projets inclut tous les essais de traitement effectués sur un volume restreint de sols contaminés. Ces essais visent à faire la démonstration de l'efficacité du procédé de traitement retenu, en utilisant un petit volume de sols, avant d'entreprendre des travaux majeurs de restauration d'un terrain contaminé. Ces essais sont habituellement effectués, soit en laboratoire ou à l'échelle pilote sur le terrain, dans le but d'établir la performance du procédé dans un cas particulier, de quantifier le transfert des contaminants dans les autres milieux et d'établir les données de conception et de contrôle du procédé en vue d'une utilisation à grande échelle.

3.3 Application à grande échelle

Les projets d'application d'une technique de traitement à grande échelle visent la restauration d'un terrain contaminé. Le procédé est présumé être au point, son efficacité a été démontrée et son utilisation sur des volumes importants de sols contaminés peut être entreprise sans risque de contaminer le milieu ambiant.

4. EXIGENCES LÉGALES ET RÉGLEMENTAIRES

Les trois niveaux de projets de traitement, comme ils sont définis dans la section précédente sont soumis à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2)¹⁷ laquelle prescrit, entre autres, à l'article 20, que “ Nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement ”.

La même prohibition s'applique “ à l'émission, au dépôt, au dégagement ou au rejet de tout contaminant, dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens ”.

Le tableau 2 présente quels types de projet nécessitent l'obtention d'une autorisation.

Compte tenu de l'échelle réduite et des particularités des projets à l'étape de développement (ex. : petit volume d'essai, milieu fermé, contrôle maximal), ces essais présentent généralement peu de risque pour l'environnement. C'est pourquoi il est précisé à la section 3.1 que ces projets ne sont pas visés par les présentes lignes directrices.

Par contre, à l'étape démonstration, les essais à l'échelle pilote effectués à l'extérieur sont susceptibles de contaminer l'environnement et ce, proportionnellement au volume de sol utilisé pour les essais. Ces expériences doivent donc être réalisées en prenant les précautions nécessaires pour protéger l'environnement.

¹⁷ Gouvernement du Québec, 1992

TABLEAU 2 : AUTORISATIONS REQUISES SELON LE TYPE DE PROJET

1°	PROJET DE DÉVELOPPEMENT	PAS DE CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
2°	PROJET DE DÉMONSTRATION (ESSAI À L'ÉCHELLE PILOTE)	PAS DE CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
3°	TRAITEMENT IN SITU ◆BIODÉGRADATION	CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
	◆BIOVENTILATION	CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
	◆VOLATILISATION	
	● PAR ASPIRATION	AUTORISATION SELON L'ARTICLE 48
SEULEMENT		CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
	● PAR ASPIRATION ET INJECTION D'AIR	CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
	◆BARBOTAGE	CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
	◆BIOBARBOTAGE	CERTIFICAT D'AUTORISATION SELON L'ARTICLE 22
4°	TRAITEMENT HORS-TERRE	PAS BESOIN D'UN AUTRE CERTIFICAT D'AUTORISATION
5°	TRAITEMENT DANS UN LIEU DÉJÀ AUTORISÉ	AUTORISATION SELON L'ARTICLE 48
6°	SYSTÈME DE TRAITEMENT D'AIR	AUTORISATION SELON L'ARTICLE 32
7°	SYSTÈME DE TRAITEMENT D'EAU USÉE	

À cet égard, le Ministère est informé de l'exécution de ces essais à l'échelle pilote, afin qu'il détermine s'ils sont soumis à la délivrance d'un certificat d'autorisation selon l'article 22 de la Loi ou s'ils bénéficient de l'exclusion prévue au point 5 de l'article 2 de la section I du Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement (c. Q-2, r.1.001)¹⁸.

La Communauté urbaine de Montréal (CUM) et les municipalités sont également informées des projets à l'échelle pilote réalisés sur leur territoire. Sur la base d'une entente conclue avec le gouvernement du Québec en 1981, la CUM a le contrôle des sources de contamination de l'atmosphère sur son territoire. De plus, les projets doivent respecter les règlements municipaux relatifs au rejet des eaux usées dans les réseaux d'égouts et les cours d'eau.

À l'exception de la volatilisation *in situ* par aspiration seulement, **l'application à grande échelle** des techniques de traitement, par biodégradation, par bioventilation ou par volatilisation pour restaurer totalement ou en partie un terrain contaminé, est assujettie à la délivrance d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2). La même exigence s'applique également aux centres de traitement à vocation commerciale. D'autre part, lorsqu'un système de traitement à grande échelle comporte l'installation d'un dispositif pour le traitement d'eau usée ou d'un dispositif pour le traitement des émissions gazeuses, ceux-ci font l'objet d'autorisations particulières. Un dispositif pour le traitement d'eau usée est autorisé par le Ministère en vertu de l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement et un dispositif pour le traitement des émissions gazeuses est autorisé en vertu de l'article 48 de cette loi.

Dans le cas particulier des projets de traitement *in situ* par volatilisation avec aspiration seulement, le seul impact appréhendé ayant trait aux émissions dans l'atmosphère, leur réalisation est préalablement autorisée par le MENV en vertu de l'article 48 de la Loi.

Pour résumer, tous les essais sont assujettis à l'article 20 de la Loi sur la qualité de l'environnement. Les projets de démonstration et de traitement par volatilisation avec aspiration seulement ne sont pas soumis à la délivrance d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 mais ils sont communiqués au ministère de l'Environnement et à la CUM ou aux municipalités concernées. Et finalement, tous les projets de traitement à grande échelle, autres que par volatilisation *in situ* avec aspiration seulement autorisés en vertu de l'article 48, sont autorisés en vertu de l'article 22 de la Loi et, s'il y a lieu, en vertu respectivement des articles 32 et 48 pour les dispositifs relatifs au traitement d'eau usée ou au traitement des émissions gazeuses.

Le ministère de l'Environnement n'émet aucune licence ou accréditation permettant à un promoteur d'utiliser sur une base générale, sans autorisation particulière, un procédé de traitement pour des sols contaminés.

Il faut de plus noter que, dans les cas d'un traitement *in situ*, un projet, s'il est mal exécuté, peut conduire à la dispersion des contaminants dans l'air, dans le sol et particulièrement dans les eaux souterraines. Les impacts des projets de traitement hors-terre sont, pour leur part, plutôt associés à une possibilité de transfert des contaminants dans l'atmosphère et dans

¹⁸ Gouvernement du Québec, 1993

l'eau pour certains cas.

De manière à assurer la protection de la santé publique et de l'environnement, tous les projets de démonstration et d'application à grande échelle d'un traitement de sol par biodégradation, volatilisation ou par bioventilation sont réalisés conformément aux lignes directrices présentées à la section suivante.

5. LIGNES DIRECTRICES

Les lignes directrices sont subdivisées en quatre grandes sections. La première introduit les principes de base applicables à tous les types de projets. La seconde présente les directives particulières aux essais de démonstration. La troisième précise celles relatives aux cas d'application à grande échelle pour restaurer un terrain contaminé. Finalement, les éléments de contrôle et de suivi permettant d'évaluer adéquatement l'efficacité des techniques utilisées dans chacun des projets sont regroupés dans la dernière section.

5.1 Principes

1. Tous les projets de traitement de sol par biodégradation, par bioventilation ou par volatilisation appliqués à grande échelle pour restaurer un terrain ont fait l'objet d'une démonstration a priori de la maîtrise de la technique utilisée et de son efficacité pour atteindre l'objectif de décontamination. Il y a un point de décision après l'étape de démonstration sur la poursuite du projet pour restaurer le terrain visé.
2. Les projets de démonstration visent une décontamination réelle des sols maximale correspondant, au moins, à une concentration résiduelle des contaminants dans le sol traité inférieure au critère " B " de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Concernant les projets d'application à grande échelle sur un terrain particulier, ils visent également une décontamination maximale des sols, jusqu'à la limite technologique. Cependant, la concentration résiduelle des contaminants laissés dans le sol demeure compatible avec l'usage du terrain.
3. Les microorganismes fabriqués ou importés au sens du *Règlement sur les renseignements concernant les substances nouvelles* sont approuvés par Environnement Canada^{***} avant d'être utilisés au Québec.
4. Le système de traitement est conçu et contrôlé de manière à permettre l'identification et la quantification des contaminants dans chacun des milieux eau, air et sol à

Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement
Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux
Division des substances nouvelles
Ottawa (Ontario) K1A 0H3
Téléphone : 1 800 567-1999
Télécopieur : (819) 953-7155

n'importe quelle étape du processus de traitement.

5. Toutes les informations nécessaires pour évaluer correctement le maintien des conditions optimales de fonctionnement du système utilisé et l'efficacité du traitement sont colligées dans un rapport et validées de manière à assurer la fiabilité de l'évaluation.
6. Advenant un transfert de contaminants du sol vers les milieux eau ou air, un système de traitement adéquat de l'eau ou de l'air est prévu. Ce système doit toujours être en état de fonctionnement optimal.
7. L'action de diluer est inacceptable sauf dans le cas où le procédé la requiert et qu'elle est autorisée par le MENV.
8. Le procédé de traitement est exploité en prenant les précautions nécessaires pour éviter tout préjudice à la santé et à l'environnement et pour respecter les normes et les règlements en vigueur.
9. Le propriétaire de sols contaminés demeure responsable de ses sols lorsqu'ils sont traités sur place. Dans le cas où les sols sont envoyés et acceptés dans un lieu de traitement déjà autorisé, le propriétaire du lieu de traitement devient alors responsable des sols contaminés qu'il accepte, à moins d'une entente particulière.

5.2 Démonstration

5.2.1 Directives particulières

1. Les projets de démonstration relatifs aux bancs d'essai en laboratoire ou aux essais à l'échelle pilote sur le terrain permettent de démontrer clairement la faisabilité d'une application à grande échelle de la technique retenue, de déterminer son efficacité réelle de décontamination et d'optimiser le procédé en tenant compte des conditions d'application sur le terrain.
2. Les caractéristiques physico-chimiques, et biologiques pour certains cas, des matériaux à traiter ainsi que les paramètres de fonctionnement et de contrôle du procédé sont bien définis au départ, sur la base de l'historique de la contamination.
3. Le suivi des essais de démonstration permet de quantifier la charge des contaminants transférés dans les milieux eau et air, soit la concentration par volume et par unité de temps, pour la durée des essais ainsi que la masse résiduelle (concentration par volume) dans le sol.
4. Les essais à l'échelle pilote sur le terrain portent généralement sur un volume limité de sol, d'au plus 10 % du volume total des sols à traiter, jusqu'à concurrence d'un maximum de 500 m³ par essai.
5. Les projets de démonstration sont généralement complétés à l'intérieur d'un délai d'un an.
6. Sur le terrain, les installations nécessaires pour éviter une contamination de l'environnement sont conçues et dimensionnées selon la nature et la quantité de contaminants pouvant être transférés dans les milieux eau, air et sol.
7. La qualité du milieu récepteur est déterminée avant et après les essais à l'échelle pilote sur le terrain, lorsque cela est requis.

5.2.2 Contenu d'un projet de démonstration

Les informations à fournir dans le cadre d'une démarche d'évaluation d'un projet de démonstration à l'échelle pilote sont les suivantes :

1. Le nom, les coordonnées et la fonction du responsable du projet et, selon le cas, les coordonnées du fournisseur et de l'utilisateur de la technique ainsi que l'identification des autres intervenants et leur responsabilité dans le projet (organigramme).
2. Une description générale du projet incluant l'historique de la contamination, une évaluation des volumes de sols à traiter et des concentrations de contaminants, les objectifs de décontamination et les raisons qui justifient le choix de la technique retenue.
3. Une caractérisation adéquate des sols à traiter, selon l'historique de la contamination, incluant la considération de tous les paramètres à la base d'une évaluation adéquate de l'applicabilité de la technique retenue (voir tableau 1).
4. L'identification des contraintes et des facteurs limitants relatifs à la méthode de traitement retenue ainsi que les solutions proposées pour en atténuer les effets.
5. Selon le cas, la description et les quantités de substances ajoutées pour améliorer la structure et la perméabilité du sol ou pour favoriser la désorption ou la biodégradation des contaminants.
6. La localisation cadastrale du lieu où seront réalisés les essais pilotes et, pour ses environs dans un rayon de 1 kilomètre, des renseignements précis relativement à l'emplacement des habitations les plus proches, des voies d'accès, des cours d'eau ou plans d'eau, des milieux humides avoisinants à protéger ainsi que le zonage des lieux.
7. Une description du procédé, des équipements (caractéristiques et limites), des modes d'exploitation, de contrôle et de suivi permettant d'atteindre les objectifs fixés pour les essais de démonstration.
8. Un plan ou un schéma des installations et du procédé indiquant clairement le cheminement de tous les intrants (air, eau, nutriments et autres, selon le cas) et extrants (air, eau, contaminants et autres, selon le cas), les points de mesures et de suivi ainsi que les points d'échantillonnage.
9. Une description des méthodes employées pour effectuer les bilans de masse permettant de déterminer l'efficacité réelle du traitement.
10. Une description précise accompagnée d'un tableau synthèse du programme d'échantillonnage des sols contaminés et de l'eau souterraine (pour le traitement *in situ*) et de la caractérisation des intrants (eau, air, nutriments et autres, selon le cas) et

extrants (eau, air, contaminants et autres, selon le cas) en précisant pour chacune des matrices à échantillonner: le type d'échantillon (ponctuel, composé), la quantité à prélever, la localisation du prélèvement, la fréquence et la méthode de prélèvement et de formation des échantillons composés, la méthode de conservation, le nombre d'échantillons à prélever et à analyser ainsi que l'identification des échantillons à analyser.

11. Un tableau synthèse présentant pour chacune des matrices à échantillonner les paramètres à analyser, les méthodes d'analyses (extraction ou digestion, purification et détection), les limites de quantification et le laboratoire qui effectuera les analyses.
12. Une description du programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) en précisant pour chaque matrice à échantillonner, la nature et le nombre d'échantillons pour chacune des procédures de contrôle appropriées qui sont énoncées dans le document *intitulé Guide de procédures, Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie*, Les Publications du Québec, 1995¹⁹. Les résultats du programme AQ/CQ suivent évidemment dans un rapport les résultats d'échantillonnage réels avec lesquels les échantillons contrôles (AQ/CQ) sont analysés.
13. Le mode de gestion des sols traités ainsi que des résidus du procédé, le cas échéant.
14. Un programme de surveillance de la qualité des milieux récepteurs eau, air et sol lorsque cela est requis.
15. Un calendrier de réalisation des travaux incluant, entre autres, la préparation du site, l'installation des équipements, le début des essais, les dates d'échantillonnage et de conditionnement des sols ainsi que les dates prévues pour la fin des essais et la production du rapport de démonstration.

¹⁹

Les Publications du Québec, 1995.

5.3 Application à grande échelle

5.3.1 Directives communes aux trois techniques

1. L'utilisation des techniques de traitement par biodégradation, par bioventilation ou par volatilisation est autorisée par le ministère de l'Environnement (MENV) à condition que leur efficacité ait été démontrée. Cette démonstration, telle que définie au point 3.2 et précisée à la section 5.2, aura été réalisée dans des conditions semblables, sur le lieu même ou ailleurs. De plus, l'utilisation de l'une ou l'autre des techniques se fait dans le respect des normes et des règlements en vigueur.
2. Toutes les informations nécessaires pour établir et démontrer la maîtrise et l'efficacité de la méthode proposée et son applicabilité au cas de contamination visé sont colligées dans un rapport et validées.
3. À l'instar des projets de démonstration, les installations nécessaires pour éviter une contamination de l'environnement sont conçues et dimensionnées selon la nature et la quantité de contaminants pouvant être transférés dans les milieux eau, air et sol. L'eau et les gaz contaminés sont récupérés et décontaminés de manière à satisfaire aux normes et critères en vigueur.
4. Tous les produits ajoutés au sol pour favoriser la volatilisation ou la biodégradation des contaminants sont identifiés et quantifiés.
5. Les gaz extraits du sol sont déshumidifiés lorsqu'ils sont dirigés vers une unité d'adsorption par du charbon activé de manière à assurer l'efficacité de l'unité.
6. Tous les résidus solides ou liquides issus du traitement des sols, de l'eau ou des gaz sont analysés pour quantifier les contaminants susceptibles de s'y trouver et doivent être gérés en conséquence, selon les normes et règlements en vigueur.

5.3.2 Directives particulières pour l'utilisation *in situ*

Les techniques de traitement par biodégradation, par bioventilation ou par volatilisation lorsqu'elles sont utilisées *in situ* (sans excavation) respectent en plus des précédentes directives, celles qui suivent :

1. D'une manière séquentielle, toute phase libre de contaminants est récupérée avant que soit entrepris un traitement, selon le cas, par volatilisation, par bioventilation ou par biodégradation.
2. Dans tous les cas, prendre toutes les précautions nécessaires pour éliminer les risques de dispersion des contaminants dans l'eau souterraine ou dans les sols à l'extérieur de la zone contaminée.
3. Un système de captage des composés volatils est maintenu dans la zone non saturée lors de l'utilisation des techniques de barbotage et de biobarbotage (*air sparging* et *bio-sparging*).
4. La pression négative (vacuum) d'air dans les puits d'extraction demeure plus grande que la pression d'air dans les puits d'injection de manière à limiter la dispersion des contaminants à l'extérieur de la zone contaminée. Autrement dit, la zone d'influence des puits d'injection est contenue à l'intérieur du rayon d'influence des puits d'extraction.
5. Lorsque la contamination se situe près de la surface ou lorsqu'il y a une possibilité de diffusion des contaminants volatils vers la surface du sol, celle-ci est imperméabilisée de manière à ce que soit contrôlée la circulation d'air dans le sol vers les puits d'extraction.
6. Des puits d'observations sont installés en périphérie de la zone contaminée dans le but de s'assurer que le traitement n'a pas pour effet de disperser la contamination.
7. Dans le cas où les conditions du milieu le requièrent, les eaux contaminées sont pompées hors du sol et traitées selon le besoin.

5.3.3 Directives particulières pour l'utilisation hors-terre

Les techniques de traitement par biodégradation, volatilisation ou par bioventilation lorsqu'elles sont utilisées pour des sols excavés respectent en plus des directives de la section 5.3.1, celles qui suivent :

1. Les sols contaminés, principalement ceux contenant des composés organiques volatils (COV), sont manipulés le moins possible entre leur excavation et leur traitement de manière à limiter la diffusion des COV dans l'atmosphère. Leur entreposage est conçu de manière à limiter la contamination du milieu ambiant.
2. Les aires de traitement sont protégées des intempéries et leur exploitation ne contamine pas les sols sous-jacents. À cette fin, ces aires sont constituées, entre autres, d'une surface imperméable, d'un système de captage des eaux de procédé, d'un système de drainage des eaux périphériques, d'un recouvrement imperméable et d'un système de captage des effluents gazeux. Les eaux de procédé sont idéalement recirculées en circuit fermé.
3. La quantité de matière ajoutée au sol pour améliorer sa texture et sa perméabilité est inférieure à 10 % du volume total du sol à traiter.
4. Les sols traités sont gérés selon la grille de gestion des sols contaminés excavés (Annexe 1).
5. Les centres de traitement à vocation régionale sont situés sur un terrain compatible avec le zonage municipal ou approuvé par la municipalité régionale de comté (MRC) concernée lorsqu'ils sont prévus sur un territoire non organisé.

5.3.4 Demande de certificat d'autorisation

Le responsable formule par écrit sa demande de certificat d'autorisation et l'adresse à la direction régionale concernée du ministère de l'Environnement. Cette demande contient les renseignements nécessaires à son évaluation, lesquels sont définis dans les présentes lignes directrices, et est accompagnée des documents requis par les articles 7 et 8 de la section II du Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement (c. Q-2, r. 1,001). Le contenu d'une telle demande applicable aux projets de traitement de sols contaminés est bien expliqué dans un petit feuillet de quatre pages intitulé *Les exigences du ministère de l'environnement et de la faune pour l'obtention d'un certificat d'autorisation*²⁰ produit en 1996.

5.4 Contrôle et suivi

La réussite d'un traitement de sol par biodégradation, par bioventilation ou par volatilisation repose en grande partie sur la compréhension et la maîtrise des principes de base de la technique utilisée, la connaissance des sols, du milieu et des contaminants à traiter ainsi que sur un bon contrôle et un bon suivi des paramètres qui conditionnent l'efficacité du traitement.

²⁰

Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 1996.

Les objectifs du contrôle et du suivi consistent d'abord à assurer l'efficacité maximale du système sur la base des informations nécessaires au maintien des conditions optimales de traitement. De plus, l'acquisition de ces informations vise à donner accès au Ministère à des données de qualité lui permettant d'évaluer correctement l'atteinte des objectifs de décontamination et de s'assurer que le traitement des sols n'est pas effectué au détriment de la qualité de l'air et de l'eau.

Ainsi, chaque projet de traitement est accompagné d'un programme de contrôle et de suivi qui comprend les éléments suivants dont certains ont déjà été identifiés à la section 5.2.2 :

1. Un schéma du système indiquant clairement les points de mesure et de contrôle, ainsi que les points d'échantillonnage.
2. Une description précise accompagnée d'un tableau synthèse du programme d'échantillonnage des sols contaminés et de l'eau souterraine (pour le traitement *in situ*) et de la caractérisation des intrants (eau, air, nutriments, produits tensioactifs, agents structurants et tout autre ajout, selon le cas) et extrants (eau, air, contaminants et autres, selon le cas) en précisant pour chacune des matrices à échantillonner : le type d'échantillon (ponctuel, composé), la quantité à prélever, la localisation du prélèvement, la fréquence et la méthode de prélèvement et de formation des échantillons composés, la méthode de conservation, le nombre d'échantillons à prélever et à analyser ainsi que l'identification des échantillons à analyser.
3. Un tableau synthèse présentant pour chacune des matrices à échantillonner les paramètres à analyser, les méthodes d'analyses (extraction, digestion, purification et détection), les limites de quantification et le laboratoire qui effectuera les analyses.
4. Une description du programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) en précisant pour chaque matrice à échantillonner, la nature et le nombre d'échantillons pour chacune des procédures de contrôle appropriées qui sont énoncées dans le document intitulé *Guide de procédures, Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie*, Les Publications du Québec, 1995. Les résultats du programme AQ/CQ suivent dans un rapport les résultats d'échantillons réels avec lesquels les échantillons contrôles (AQ/CQ) sont analysés.
5. Un tableau synthèse de surveillance de la qualité des milieux récepteurs eau, air et sol lorsque cela est requis.
6. La densité (nombre, localisation et fréquence des prélèvements) d'échantillonnage des matrices sol et eau est représentative des volumes touchés par la contamination.

Sans être exhaustif, le tableau 3 présente les paramètres les plus importants à mesurer ou à analyser pour un contrôle approprié du procédé selon la technique utilisée, alors que le tableau 4 indique les objets de mesure, selon le cas, pour une évaluation adéquate du traitement avec des indications relatives aux moments où ils sont mesurés.

En ce qui concerne les facteurs du tableau I reconnus comme ayant une influence significative sur le traitement, ils devraient faire l'objet de mesures au moins au début du traitement et, au besoin, par la suite.

Finalement, dans le cas des centres de traitement à vocation commerciale, l'exploitant d'un tel centre doit tenir un registre. Celui-ci fait l'objet d'une compilation annuelle et demeure disponible pour consultation par le Ministère. Outre l'origine, le volume et la nature des sols, la concentration des contaminants qu'ils contiennent lors de leur entrée et de leur sortie du centre ainsi que leur destination sont consignées dans ce registre. Les renseignements sont conservés durant une période minimale de dix ans.

TABLEAU 3 : PARAMÈTRES DE CONTRÔLE DU PROCÉDÉ

NATURE DU TRAITEMENT	PARAMÈTRES DE CONTRÔLE DU PROCÉDÉ		UNITÉ DE MESURE	CONTRÔLE PROPOSÉ AVANT ET PENDANT LE TRAITEMENT ET VALEURS SOUHAITABLES	CONSIDÉRATIONS
TECHNIQUES UTILISANT LE PRINCIPE DE LA BIODÉGRADATION SOIT BIODÉGRADATION BIOVENTILATION BIOBARBOTAGE (in situ)	S=sol P=procédé			AVANT ET PENDANT	
	S3	Capacité de rétention de l'eau	%	(25-85) ¹¹	Un pourcentage (%) élevé d'eau réduit l'efficacité de biodégradation en limitant le transport d'O ₂ .
	P1	Température	°C	(>10) ⁹	La °T optimale entre 20 et 40 °C ¹⁰ . L'activité bactérienne est sensiblement réduite lorsque °T = 5 °C ²¹ .
	S10	pH (sol ou eau)	pH	(5-9) ²²	Le pH 7,5, idéal.
	P2	Nutriments	C:N:P	(100:10:1) ¹¹	L'azote disponible (NH ₄) ⁺ . Le phosphore assimilable (PO ₄ ⁻³).
	S11	O ₂ (eau) (gaz)	mg/L	(>0,2) ¹¹	L'O ₂ est le facteur qui limite le plus la biodégradation. Le niveau maximal de O ₂ dissout par barbotage est de 10 ppm. Le H ₂ O ₂ est parfois utilisé. Cependant, H ₂ O ₂ > 200 ppm est toxique pour les microorganismes. L'O ₂ dissout devrait être maintenu au dessus de 2 ppm.
	S12	Potentiel redox (sol) (optionel)	mv	(>50) ^{11,23}	Le potentiel redox peut être utilisé au lieu du O ₂ . Des sols bien ventilés ont un Eh de 400 à 800 millivolts à pH ¹⁰ .
P3	Dénombrements bactériens	U.F.C/g	(10 ⁶) ²⁴	Le nombre de bactéries hydrocarbonoclastes. Une augmentation et un maintien de cette population microbienne donne une bonne indication sur la capacité du milieu à soutenir la biodégradation des contaminants ²⁵ .	
TECHNIQUES UTILISANT LE PRINCIPE DE LA VOLATILISATION SOIT VOLATILISATION BIOVENTILATION BARBOTAGE (in situ) BIOBARBOTAGE (in situ)	P4	Vacuum	KPa	√	La mesure de vacuum à la soufflante et pour chaque puits d'aspiration. La mesure de vacuum in situ.
	P5	Débit d'air	m ³ /min	√	Le débit d'injection (DI) maintenu inférieur au débit d'aspiration (DA)(in situ). DI = 20 - 80 % DA ²⁶ .
	S8	Humidité relative interstitielle	%	(94-98,5) ²⁷	Le suivi du niveau d'eau lorsque la zone non saturée n'est pas profonde (2-3 m) (in situ)

Références :

21 DIBBLE, J.T. et R. BARTHA, 1994
 22 U.S. EPA, 1990, EPA/540/2-90/002
 23 SIMS, J.L. et al, 1989
 24 RISER-ROBERTS, E., 1992

25 JOHNSON, P.C. et al, 1990
 26 ANONYME, 1993
 27 DAVIES, S.H., 1989

√ : Moment proposé du contrôle en l'absence d'indication de valeur souhaitable

TABLEAU 4 : SUIVI DE L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT

NATURE DU TRAITEMENT	OBJETS DE MESURE POUR DÉTERMINER L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT, SELON LE CAS		UNITÉ DE MESURE	PROGRAMME D'ÉCHANTILLONNAGE PROPOSÉ : AVANT, PENDANT ET APRÈS LE TRAITEMENT, SELON LE CAS			CONSIDÉRATIONS
	E=efficacité	Nature et concentration des contaminants dans :		AVANT	PENDANT	APRÈS	
TECHNIQUES UTILISANT LES PRINCIPES DE LA BIODÉGRADATION OU DE LA VOLATILISATION SOIT : BIODÉGRADATION BIOVENTILATION VOLATILISATION BARBOTAGE (in situ) BIOBARBOTAGE (in situ)	E1	Les sols	mg/kg	√		√	
	E2	Les eaux souterraines (in situ)	µg/L	√		√	L'échantillonnage de 2 points de mesure, à 2 reprises, 6 mois après le traitement
	E3	Les vapeurs récupérées	mg/m ³		√		Les points d'échantillonnage doivent être localisés avant et après le dispositif de traitement des vapeurs. Proposé : Échantillonnage à chaque jour pour la première semaine, une fois par semaine pour le premier mois et ensuite une fois par mois.
	E4	Les eaux récupérées	µg/L			√	Les eaux récupérées proviennent de l'unité de déshumidification et du réservoir utilisé pour mélanger et recirculer les nutriments.
	E5	Le dispositif de traitement des vapeurs	mg/kg		√	√	Pour un filtre au charbon, un programme d'échantillonnage pendant le traitement afin de s'assurer de connaître le moment où il doit être changé.
	E6	Les boues de sédimentation	mg/kg			√	Ces boues proviennent de l'unité de déshumidification ou du réservoir utilisé pour mélanger et recirculer les solutions contenant les nutriments.
	E7	Les gaz interstitiels (in situ)	mg/m ³	√		√	Pour démobiliser les équipements in situ, au moins 2 points d'échantillonnage après traitement pour deux périodes différentes.
	E8	Toxicité dans le sol	unité toxique (UT)	√	lorsqu'on suspecte la présence de composés intermédiaires toxiques	√	Des essais standards tels que la germination de la laitue, la mortalité de vers de terre et l'élongation racinaire dans le sol ainsi que le microtox et la croissance d'algues dans le lixiviat.

√ : Moment proposé du contrôle

RÉFÉRENCES

- 1) Ministère de l'Environnement du Québec, 1989. *Procédure à suivre pour les projets de biodégradation par épandage et en pile de sols contaminés*, préliminaire, Direction des substances dangereuses, juillet 1989.
- 2) Gouvernement du Québec, 1992. *Règlement sur les produits pétroliers*, U-1.1, r. 1, ISBN 2-551-14720-4.
- 3) HINCHEE, R.E. et R.F. OLFENBUTTEL, 1991. *International Symposium "In Situ and On-Site Bioreclamation"*, San Diego, California, March 1991. Two books : ISBN 0-7506-9301-0, ISBN 0-7506-9302-9.
- 4) HINCHEE, R.E. et al, 1993. *Second International Symposium "In Situ and On-Site Bioreclamation"*, San Diego, California, April 1993. Five books : ISBN 0-87371-982-4, ISBN 0-87371-983-2, ISBN 0-87371-984-0, ISBN 1-56670-084-1, ISBN-1-56670-085-X.
- 5) Ministère de l'Environnement du Québec, 1998. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, Publications du Québec, 1998, ISBN 2-551-18001-5.
- 6) Ministère de l'Environnement du Québec, 1991. *Lignes directrices pour les projets de démonstration de technologies de traitement par biodégradation de sols contenant des hydrocarbures légers*, Direction des programmes de gestion des déchets et des lieux contaminés, avril 1991.
- 7) KING, R.B., G.M. LONG et J.K. SHELDON, 1992. *Practical Environmental Bioremediation*, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-437-7.
- 8) U.S. Environmental Protection Agency, 1990. *Assessing UST Corrective Action Technologies : Site Assessment and Selection of Unsaturated Zone Treatment Technologies*, EPA/600/2-90/011, Office of Research and Development, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- 9) U.S. Environmental Protection Agency, 1990. *Assessing UST Corrective Action Technologies : Early Screening of Clean-up Technologies for the Saturated Zone*, EPA/600/2-90/027, Office of Research and Development, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- 10) POPE, D.F. et J.E. MATTHEWS, 1993. *Bioremediation using the Land Treatment Concept*, U.S. Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr

Environmental Research Laboratory, Ada, OK, EPA-600/R-93/164.

- 11) U.S. Environmental Protection Agency, 1993. Engineering Issue - *In Situ Bioremediation of Contaminated Unsaturated Subsurface Soils*, EPA/540/S-93/501, Office of Research and Development, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, and Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- 12) BENNEDSEN, M.B. et al, 1985. *Use of Vapor Extraction Systems for in-situ Removal of VOC'S from Soil*, Proceedings of the 5th National Conference on Hazardous Wastes and Hazardous Materials, HMCRI, pages 92-95.
- 13) DANKO, J., 1989. *Applicability and Limitations of Soil Vapor Extraction*, Presented at the SVE Technology Workshop, Office of Research and Development, Edison, N.J., June 28-29.
- 14) Gouvernement du Québec, 1996. *Règlement sur les produits pétroliers*, 1996, ISBN 2-551-18638-2.
- 15) MICHAELS, P.A., M.K. STINSON, 1989. *SITE Program Demonstration Test Terra Vac in situ Vacuum Extraction System, Technology Evaluation Report*, Groveland, Massachusetts, Contract no 68-03-3255.
- 16) JOHNSON, P.C. et al, 1993. *Soil Remediation Workshop*, Shell Development, Westhollow Research Centre, Environmental Science Department, Houston, TX, page 7-2.
- 17) Gouvernement du Québec, 1992. *Loi sur la qualité de l'environnement*, L.R.Q., chapitre Q-2, ISBN 2-551-15506-1.
- 18) Gouvernement du Québec, 1993. *Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement*, c. Q-2, r. 1.001.
- 19) Les Publications du Québec, 1995. *Guide de procédures, Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie*, ISBN-2-551-16167-3.
- 20) Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 1996. *Les exigences du ministère de l'Environnement et de la Faune pour l'obtention d'un certificat d'autorisation*, numéro 3047-95-09.
- 21) DIBBLE, J.T. et R. BARTHA, 1994. *Effect of Environmental Parameters on Biodegradation of Oil Sludge*, Applied Environmental Microbiology, volume 37.

- 22) U.S. Environmental Protection Agency, 1990. *Handbook on in Situ Treatment of Hazardous Waste-Contaminated Soils*, EPA/540/2-90/002, Office of Research and Development, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- 23) SIMS, J.L., R.C. SIMS, et J.E. MATTHEWS, 1989. *Bioremediation of Contaminated Surface Soils*, U.S. Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, EPA-600/989/073.
- 24) RISER-ROBERTS, E, 1992. *Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites*, CRC Press Inc, ISBN 0-87371-832-1.
- 25) JOHNSON, P.C. et al, 1990. *A Practical Approach to the Design, Operation, and Monitoring of In Situ Soil Venting System*, Groundwater Monitoring Review, Spring 1991, page 174.
- 26) ANONYMOUS, 1993. *Advances in Air Sparging Design*, The Hazardous Waste Consultant, vol. 11, Issue 1, p. 1.3, January/February 1993.
- 27) DAVIES, S.H., 1989. *The Influence of Soil Characteristics on the Sorption of Organic Vapors*, presented at the Workshop on Soil Vacuum Extraction, R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, April 27-28.
- 28) U.S. Environmental Protection Agency, 1993. *Considerations in Deciding to Treat Contaminated Unsaturated Soils In Situ*, EPA Engineering Forum Issue, U.S. EPA Risk Reduction Engineering Laboratory (RREL), Edison, NJ, EPA-540/S-94/500.

ANNEXE 1

GRILLE DE GESTION DES SOLS CONTAMINÉS EXCAVÉS INTÉRIMAIRE

Jusqu'à l'entrée en vigueur du projet de règlement sur la mise en décharge et l'incinération

NIVEAU DE CONTAMINATION	OPTIONS DE GESTION
< A	1. Utilisation sans restriction.
Plage A - B	1. Utilisation comme matériaux de remblayage sur les terrains contaminés à vocation résidentielle en voie de réhabilitation* ou sur tout terrain à vocation commerciale ou industrielle, à la condition que leur utilisation n'ait pas pour effet d'augmenter la contamination** du terrain récepteur et, de plus, pour un terrain à vocation résidentielle que les sols n'émettent pas d'odeurs d'hydrocarbures perceptibles. 2. Utilisation comme matériaux de recouvrement journalier dans un lieu d'enfouissement sanitaire (LES). 3. Utilisation comme matériaux de recouvrement final dans un LES à la condition qu'ils soient recouverts de 15 cm de sol propre.
Plage B - C	1. Décontamination de façon optimale*** dans un lieu de traitement autorisé et gestion selon le résultat obtenu. 2. Utilisation comme matériaux de remblayage sur le terrain d'origine à la condition que leur utilisation n'ait pas pour effet d'augmenter la contamination** du terrain et que l'usage de ce terrain soit à vocation commerciale ou industrielle. 3. Utilisation comme matériaux de recouvrement journalier dans un LES.
> C	1. Décontamination de façon optimale*** dans un lieu de traitement autorisé et gestion selon le résultat obtenu. 2. Si l'option précédente est impraticable, dépôt définitif dans un lieu d'enfouissement sécuritaire autorisé pour recevoir des sols.

* Les terrains contaminés à vocation résidentielle en voie de réhabilitation sont ceux voués à un usage résidentiel dont une caractérisation a démontré une contamination supérieure au critère B et où l'apport de sols en provenance de l'extérieur sera requis lors des travaux de restauration.

** La contamination réfère à la nature des contaminants et à leur concentration.

*** Le traitement optimal est défini pour l'ensemble des contaminants par l'atteinte du critère B ou la réduction de 80 % de la concentration initiale et pour les **volatils** par l'atteinte du critère B. À cet égard, les volatils sont définis comme étant les contaminants dont le point d'ébullition est < 180 °C ou dont la constante de la Loi de Henry est supérieure à $6,58 \times 10^{-7}$ atm·m³/g incluant les contaminants identifiés dans la section III de la grille des critères de sols incluse à l'annexe 2 de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.

PRINCIPES DE BASE

1. La qualité des sols propres doit être maintenue et protégée.
2. La décontamination des sols contaminés excavés est privilégiée.
3. La dilution est inacceptable.
4. L'objectif de décontamination est la réutilisation des sols.

Le 26 janvier 1999