

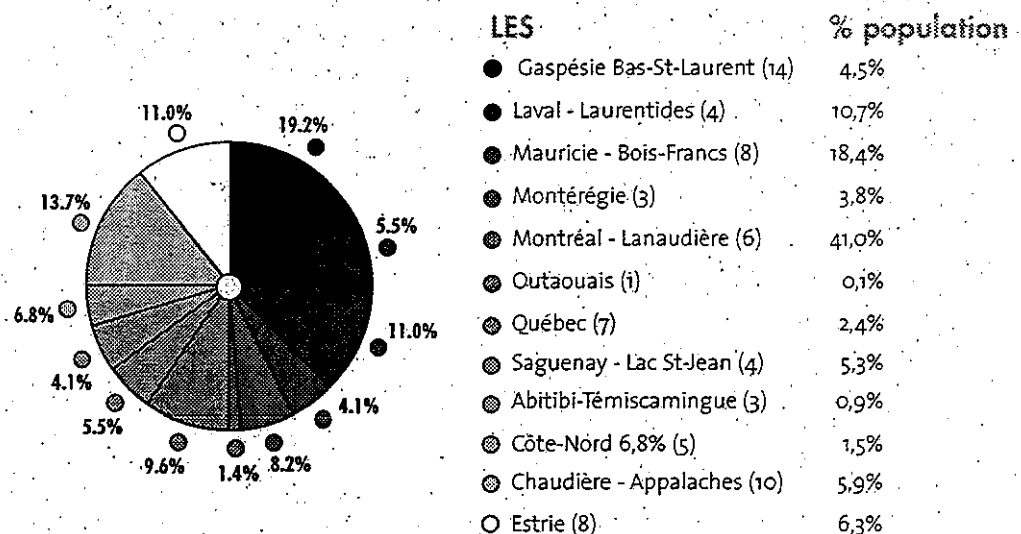
**CHAPITRE II**  
**L'ENFOUISSEMENT DES**  
**MATIÈRES RÉSIDUELLES**  
**ET LES RISQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE**

## CHAPITRE II L'ENFOUISSEMENT DES MATIÈRES RÉSIDUELLES ET LES RISQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE

La problématique de la gestion des matières résiduelles appelées couramment déchets ne date pas d'hier. Dès qu'il a abandonné le mode de vie nomade pour se tourner vers la sédentarité, l'humain a été confronté à celle-ci. 500 ans avant J.C., Athènes aurait été la première ville à enfouir les matières résiduelles produites par sa population dans un lieu spécifique (DeLong, 1993). Bien qu'encore aujourd'hui, l'enfouissement sanitaire demeure la solution prédominante à la problématique des matières résiduelles au Québec, comme à travers le monde, le virage vers la société de consommation a modifié sensiblement son ampleur. Résultat : le contenu de nos poubelles est autrement plus volumineux, complexe et diversifié que celui de nos grands-parents.

FIGURE 2.1

Repartition des LES et des populations desservies par région



L'enfouissement des déchets est privilégié sur les autres solutions, car elle est simple et parmi les moins coûteuses (Frigon et al., 1992). 74% de la totalité des matières résiduelles se retrouve dans les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) qui étaient au nombre de 65 au Québec en 1998 (MEF, 1998; RECYC-QUÉBEC, 1999) (Annexe A). Parmi ces sites, quatre (4) d'entre eux recueillent plus de 70% des matières résiduelles destinées aux LES (FCQGED, 2000a).

Ces mégasites sont situés à : Sainte-Sophie, Lachenaie, Sainte-Genève-de-Berthier et Saint-Nicéphore. Au niveau de la répartition géographique, la figure 2.1 permet de constater que près du tiers des LES inventoriés en 1997 étaient localisés dans deux régions du Québec: le Bas-Saint-Laurent-Gaspésie et Chaudière-Appalaches (Cabral et al., 1997).

En 1998, 4 235 200 tonnes métriques (tm) de matières résiduelles ont été éliminées par l'enfouissement (RECYC-QUÉBEC, 1999). Ce mode d'élimination des matières résiduelles comporte cependant des risques à la santé humaine. Mais avant de rapporter ces impacts, nous débuterons en exposant certains aspects techniques de base liés à l'enfouissement des matières résiduelles. Les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) sont choisis selon plusieurs critères dont, les caractéristiques socio-économiques, tels l'éloignement des zones résidentielles, commerciales et touristiques, et les caractéristiques biophysiques relatives à la topographie, à la géologie et à l'hydrologie (Lisk, 1991). Cependant, dans la pratique, le choix de l'emplacement d'un LES est généralement déterminé par le fait qu'il existait déjà un dépotoir à l'endroit désigné. Dans la majorité des cas, cet endroit était établi en fonction de critères déterminés par l'exploitant. L'objectif de ces critères consiste à réduire les désagréments et la contamination provenant de la concentration des matières résiduelles, car ils pourraient affecter l'économie et la santé humaine. Jusqu'à présent, les gestionnaires et les ingénieurs se sont fiés aux caractéristiques biophysiques naturelles du sol comme principal moyen pour réduire la libération des contaminants des LES dans l'environnement.

**En 1998, 4 235 200 tonnes métriques (tm) de matières résiduelles ont été éliminées par l'enfouissement. Ce mode d'élimination des matières résiduelles comporte cependant des risques à la santé humaine.**

Jusqu'à tout récemment, deux grands principes liés aux caractéristiques biophysiques du sol régulaient le fait d'obtenir un permis pour enfouir les matières résiduelles dans un lieu: le confinement et l'atténuation naturelle (Cabral et al., 1997). Dans le but d'emmagasiner des matières résiduelles, des cellules de confinement sont construites avec divers matériaux caractérisés pour leur étanchéité (Chapuis et Marcotte, 1991). Les matériaux considérés étanches peuvent être constitués du sol en place ou d'autres éléments que l'on superpose en couches et qui forment une barrière appelée tapis d'étanchéité. Les composantes utilisées pour constituer le tapis d'étanchéité sont les sols argileux, les mélanges sol-bentonite et les géomembranes.

Pour le matériel naturel, on distingue un gradient de performance selon les divers types de sol. Les plus performants étant les sols argileux, alors que les moins efficaces pour retenir les contaminants étant les sols sableux (Cabral et al., 1997). L'étude de Cabral et al. (1997) révèle que parmi les 73 sites d'enfouissement québécois, seulement neuf (9) de ceux-ci étaient situés sur un sol argileux et seulement trois (3) recourraient à une membrane. Ainsi, la majorité des LES québécois (83.5%), sont situés sur un sol plus ou moins étanche et donc retenant plus ou moins les contaminants. De plus, il faut ajouter qu'il existe une multitude de zones d'incertitudes face à l'efficacité des matériaux, tant naturels que synthétiques, servant au confinement du lixiviat afin de conserver les contaminants (Chapuis et Marcotte, 1991; Gagné, 1995; Québec, 1997).

L'atténuation naturelle repose sur le principe que certaines caractéristiques du sol, telles la perméabilité et la porosité, permettront une certaine filtration et réduction de la contamination (Lisk, 1991). Bien que les gestionnaires se soient basés principalement sur l'atténuation naturelle pour autoriser le développement de la majorité des lieux d'enfouissement sanitaire (LES) existants au Québec, les connaissances récentes ont démontré qu'elle est insuffisante pour garantir la protection des composantes de l'environnement. C'est pourquoi le développement d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) ne sera plus autorisé sur cette base avec la mise en vigueur du Règlement sur l'élimination des matières résiduelles. Cependant, nous expliquerons l'atténuation naturelle tout de même, car la libération des contaminants d'une portion importante de LES existants continuera, malgré l'entrée en vigueur du nouveau règlement.

Selon le concept de l'atténuation, plus un sol est imperméable, moins il devrait y avoir une libération des contaminants dans les diverses composantes de l'environnement (eau, sol et air) (Lisk, 1991). La contamination environnementale d'un LES érigé sur un sol argileux devrait donc être moins élevée que celle d'un LES installé sur un sol sableux. On s'aperçoit toutefois qu'une faible proportion de LES québécois ont été sélectionnés en se basant sur cette notion. Selon une étude publiée en 1997, seulement 9 sur 73 sites ont été érigés sur un sol argileux (Cabral et al., 1997) (voir tab. 1.1). C'est pourquoi, les futurs sites choisis pour accueillir un LES, devront recourir à un écran périphérique d'étanchéité selon le nouveau règlement (Gazette officielle du Québec, 2000). Il est cependant important de conserver à l'esprit que ce moyen de réduction de la contamination de l'environnement n'est qu'un palliatif à la problématique de la gestion des matières résiduelles. Finalement, bien que les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) devraient être choisis théoriquement selon les critères socio-économiques et biophysiques mentionnés précédemment, on s'aperçoit, qu'en pratique, peu de sites d'enfouissement ont été implantés selon ces règles.

Une fois le lieu d'enfouissement sanitaire (LES) choisi, les matières résiduelles y sont transportées, enfouies et compactées mécaniquement en couches successives (MENVIQ, 1987 cité dans Comité de santé environnementale (CSE), 1993, p. 52). Par la suite, elles sont recouvertes quotidiennement de matériel de recouvrement afin de réduire les nuisances et la contamination causées par les matières résiduelles en décomposition. Au Québec, cette pratique d'enfouissement pêle-mêle des matières résiduelles est à l'origine de la libération dans les diverses composantes de l'environnement (eau, air, sol) d'une multitude de contaminants. Plusieurs d'entre eux sont reconnus comme ayant le potentiel d'affecter la santé humaine et sont émis dans l'environnement via deux processus biophysiques liés à la décomposition des matières enfouies: l'un menant à la formation du lixiviat et l'autre à la génération du biogaz. Les sections ultérieures expliquent ces deux phénomènes ainsi que les risques sur la santé humaine suite à l'exposition des contaminants qu'ils relâchent dans l'environnement.

**TABIEAU 2.1**

**Résumé des caractéristiques des lieux d'enfouissement sanitaire (LES)**

MEF	Type prédominant de sol en contact avec les déchets	Nombre de LES inventoriés	Captage du lixiviat	Plage de k (cm/s) <sup>1</sup>	AN/IN <sup>2</sup>
A1	Sableux	3	Oui	10 <sup>-1</sup> à 10 <sup>-3</sup>	2/1
		22	Non		22/0
A2	Till grossier	12	Oui	10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup>	5/7
		6	Non		6/0
B1	Till fin	10	Oui	10 <sup>-6</sup> à 10 <sup>-7</sup>	0/4
		0	Non		---
B2	Silteux/argileux <sup>3</sup>	8	Oui	< 10 <sup>-7</sup>	4/4
		1	Non		1/0
C	Sites avec membrane géosynthétique	3	Oui	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
		0	Non		
D	Roc, résidus miniers, tourbe et ND <sup>4</sup>	4	Oui	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
		3	Non		
Complexe environ. Saint-Michel	Roc calcaire	1	Oui	10 <sup>-2</sup> à 10 <sup>-6</sup>	Ne s'applique pas
Totaux		41	Oui	Ne s'applique pas	11/16
		32	Non		29/0

1 Plage prédominante pour la classe de sol lorsque l'information était disponible

2 Dénomination du MEF : AN = Lieux par atténuation naturelle; IN = Lieux sur terrain « imperméable » naturel ou avec membrane

3 LES fermés

4 ND: sites pour lesquels la description du sol n'était pas disponible (ND)

Inspiré de Cabral, Alexandre, Guy Lefebvre et Luc. « Conditions actuelles de l'enfouissement de déchets solides au Québec ». Vecteur Environnement, vol. 30, no 5, p. 34.

## 2.1 Le lixiviat

### 2.1.1 Le processus de formation du lixiviat

L'infiltration de l'eau à travers les déchets est le principal phénomène impliqué dans la formation du lixiviat (Frigon et al., 1992). L'eau s'accumulant dans un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) provient de quatre sources (CSE, 1993):

- des précipitations;
- de l'eau souterraine en contact avec les matières résiduelles;
- de la décomposition des matières organiques enfouies;
- de l'humidité des matières résiduelles enfouies.

Cette eau en traversant la masse de matières résiduelles, en décomposition ou en voie de l'être, entraîne avec elle les substances solubles, les composés insolubles, les matières en suspension ainsi que les microorganismes. La contamination des eaux souterraines, des eaux de surface et du sol par le lixiviat se produit généralement lorsque les matières résiduelles sont saturées d'eau (Lisk, 1991). Cette contamination peut débuter de nombreuses années après l'ouverture d'un LES; car elle est influencée par la décomposition des matières résiduelles qui varie selon la substance ou le produit en cause (Cartier, 1996). De plus, elle se prolonge généralement longtemps après l'usage que l'on a fait du sol.

Le niveau de contamination des composantes environnementales est particulièrement influencé par la composition des matières résiduelles qui ont été enfouies et par l'âge du site (Frigon et al., 1992). Cette contamination des éléments rappelle que le terme « élimination » des matières résiduelles ne correspond pas à la réalité. Les matières résiduelles ne sont pas éliminées: elles sont isolées, cachées à la vue de la majorité de la population, se transforment via divers processus et finalement remises en circulation dans l'environnement. La phrase historique du chimiste Antoine Laurent de Lavoisier « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » prend ici tout son sens. Cette libération dans l'environnement engendre diverses conséquences. Dans cet esprit, nous verrons dans la section suivante les risques à la santé humaine liés à l'exposition aux contaminants libérés par le lixiviat des LES.

**Les matières résiduelles ne sont pas éliminées: elles sont isolées, cachées à la vue de la majorité de la population, se transforment via divers processus et finalement remises en circulation dans l'environnement.**

## 2.1.2 Le lixiviat et les risques à la santé humaine

Les risques d'exposition les plus communs sont liés à la consommation d'eau potable par les communautés humaines avoisinantes aux lieux d'enfouissement sanitaire (LES). En effet, l'élément de l'environnement le plus propice à être contaminé par le lixiviat est l'eau souterraine, qui sert souvent de source d'approvisionnement (Beaudet et Boyer, 1999). Plusieurs catastrophes environnementales liées à la gestion des matières résiduelles, ne citons que celles de Love Canal, et des lagunes de Mercier, sont des preuves des risques de contamination des eaux souterraines et de surface (CSE, 1993; Lisk, 1991). D'autant plus que certaines études récentes indiqueraient que la composition du lixiviat provenant de l'enfouissement des matières résiduelles domestiques (secteur municipal) est similaire à celle résultant de l'enfouissement des matières résiduelles dangereuses (Murray et Beck, 1990). Par ailleurs, une étude de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis révèle que sur 127 LES américains, 26% de ceux-ci contaminaient les eaux souterraines avec lesquelles ils étaient en contact (U.S. EPA, 1986 cité par CSE, 1993, p. 57). Au Québec, la situation est particulièrement préoccupante : 61% des lieux par atténuation naturelle et 83% des lieux avec captage et traitement des eaux de lixiviation contaminaient des eaux de surface en 1991 (Québec, 1995).

**Au Québec, la situation est particulièrement préoccupante : 61% des lieux par atténuation naturelle et 83% des lieux avec captage et traitement des eaux de lixiviation contaminaient des eaux de surface en 1991.**

Rares sont les études portant sur les risques directs du lixiviat sur la santé humaine. Cependant, une étude utilisant les bioessais pour évaluer le potentiel toxique du lixiviat brut de plusieurs LES sur les organismes vivants ne laisse aucun doute : les concentrations de contaminants ambiantes étaient bel et bien nocives (Van et al., 1990 cité par CSE, 1993, p. 57). Bien que les études faisant le lien directement entre l'exposition des humains à la multitude de contaminants retrouvés dans le lixiviat et les risques sur leur santé soient quasi-inexistantes, les études rapportant les risques entre l'exposition des humains à chacun des principaux contaminants retrouvés dans le lixiviat sont relativement bien documentées. Il ressort de la revue de littérature que les contaminants libérés peuvent être regroupés en trois catégories : les matières organiques, les matières inorganiques, incluant majoritairement les métaux, et les microorganismes pathogènes.

Il peut être important ici de définir les termes matières organiques et inorganiques qui proviennent de la chimie. Les matières inorganiques incluent tous les composés qui n'existent pas chez les organismes vivants et lorsqu'ils contiennent des carbones c'est sous forme de carbonate ou de cyanure (Parent, 1990; et Rey, 2000). Soulignons que la plupart d'entre eux sont des métaux. Les matières organiques sont, quant à elles, composées de carbones structurés entre eux et avec les autres molécules sous une forme qui est la plupart du temps retrouvée chez les organismes vivants (Hart et, 1985). Bien que les matières organiques soient généralement retrouvées dans la nature (chez les animaux et les plantes), la chimie moderne a créé artificiellement de nouvelles substances organiques qui ont comme caractéristique d'être fortement toxiques : pesticides, BPC, chlorure de vinyle (principale composante d'un type de plastique, le PVC), etc. Les sections suivantes décrivent les risques à la santé humaine suite à l'exposition aux substances inorganiques (dont la majorité sont des métaux), aux substances organiques et aux microorganismes pathogènes libérés par le lixiviat.

### 2.1.2.1 Les substances inorganiques et les risques à la santé humaine

Les substances inorganiques se retrouvent dans bon nombre d'articles qui se retrouvent en bout de ligne dans les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) ou dans les incinérateurs: agents nettoyants, boîtes de conserve, cosmétiques, matières plastiques, médicaments, peintures, polisseurs, télévisions, etc. (Carrier et Duclos, 1993; Cartier, 1996; Santé Canada, 1996). En 1992, les métaux représentaient 8.4% de la composition moyenne des matières résiduelles produites par les secteur municipal (plus communément appelée domestiques) (CSE, 1993). La libération des substances inorganiques dans l'environnement survient à un moment ou à un autre, car celles-ci se dissolvent dans le lixiviat (Cartier, 1996).

Les principales substances inorganiques retrouvées dans le lixiviat et détenant un pouvoir toxique sont: le cadmium, le chrome, le cuivre, le cyanure, le mercure, le plomb et le zinc (CSE, 1993; Environnement Canada, 1993). Les principaux risques à la santé suite à l'entrée dans l'organisme de ces composés sont fort nombreux et souvent spécifiques à chacun d'entre eux (Santé Canada, 1996). Cependant, il est possible d'observer certains symptômes communs suite à leur exposition. Par exemple, lors des expositions aiguës, les effets suivants sont souvent remarqués: diarrhées, maux de tête et nausées. Des impacts sur la santé plus graves sont généralement observés chez les sujets exposés de façon chronique: dysfonctionnements des systèmes neurologique, cardiaque, respiratoire, digestif et rénal. Diverses études tendent également à démontrer qu'il existe une association entre l'exposition au chrome et au cadmium et l'augmentation des risques de développer divers types de cancers. En effet, le chrome est reconnu par le Centre international de recherche sur le cancer comme une substance pour laquelle les preuves du pouvoir cancérigène chez l'humain sont suffisantes. Il est donc classé dans le Groupe I, celui rassemblant les substances les plus cancérigènes. Le tableau 2.2 détaille les risques à la santé associés à l'exposition aux substances inorganiques les plus fréquemment libérées par le lixiviat des LES.



## TARLEAU 2.2

### Risques à la santé associés à une exposition à long terme aux principales substances inorganiques retrouvées dans le lixiviat

Risque de dysfonctionnement au niveau :	Cadmium	Chrome	Cyanure	Manganèse	Mercure	Nitrates-nitrites	Sulfures (H <sub>2</sub> S)	Plomb
Du système cardiaque							•	
Du système digestif (foie, estomac, etc.)	•	•			•	•		•
Du système immunitaire								
Du système nerveux				•	•		•	•
Du système osseux	•							
Du système rénal (reins)	•				•			
Du système respiratoire (poumons)	•	•		•	•		•	•
Du système sanguin								•
Du système reproducteur				•				•
Potentiel cancérogène*	•							
Groupe I		•						
Groupe II								
Groupe IIIA						•		
Groupe IIIB								•
Groupe VA								
Potentiel mutagène	•			•		•	•	
Potentiel tératogène				•		•	•	•
Concentration maximale acceptable (CMA) dans l'eau potable	0,005 mg/L (5 µg/L)	0,05 mg/L (50 µg/L)		0,001 mg/L (1 µg/L)	0,001 mg/L (1 µg/L)	45 mg/L (Nitrates) 3,2 mg/L (Nitrites)	0,05 mg/L (50 µg/L)	0,01 mg/L (10 µg/L)

\* \* Voir la définition de la classification à la p. 12

Inspiré de Carrier et Duclos, 1993 dans Québec, 1993; CSE, 1993; Santé Canada, 1996a (Références complètes à la fin du document)

### 2.1.2.2 Les substances organiques et les risques à la santé humaine

Les contaminants organiques retrouvés dans le lixiviat proviennent principalement des produits dangereux que nous utilisons et qui deviennent des résidus domestiques dangereux (RDD) lorsque nous les jetons à la poubelle. Les produits suivants contiennent généralement des substances considérées comme des résidus domestiques dangereux, c'est-à-dire ayant un potentiel toxique élevé : aérosols, décapants, dégraissants, désodorisants, détergents, nettoyants, réfrigérants, peintures, polisseurs, teintures, encres, colorants, vernis, pesticides, etc. (Carrier et Duclos, 1993 cité dans Québec, 1993; CSE, 1993). Bien que la réglementation interdise l'enfouissement des déchets dangereux dans les lieux d'enfouissement sanitaire (LES), le système institutionnel de surveillance mis en place permet difficilement d'empêcher les RDD de se retrouver dans les LES. En effet, dans le passé, plusieurs RDD ont été enfouis dans plusieurs LES qui sont encore en opération actuellement, et cette situation se perpétue dans le présent, car la plupart des ménages québécois ignorent que bien des produits qu'ils utilisent sont des RDD et qu'ils ne doivent pas être jetés à la poubelle comme les autres matières résiduelles (Beudet et Boyer, 1999).

**Les contaminants organiques retrouvés dans le lixiviat proviennent principalement des produits dangereux que nous utilisons et qui deviennent des résidus domestiques dangereux (RDD) lorsque nous les jetons à la poubelle.**

Plusieurs autres produits se retrouvant dans le lixiviat, catégorisés dans les matières organiques, sont en apparence inoffensifs, mais lorsqu'ils se retrouvent dans les LES et qu'ils sont dégradés dans l'environnement, ils ont la capacité de devenir toxiques. En effet, ces substances organiques synthétiques possèdent souvent des caractéristiques de résistance mécanique, à la lumière et à la chaleur qui les rendent persistantes (Cartier, 1996). Bien que les matières plastiques semblent inertes, lors du processus de dégradation, les monomères dont elles sont composées peuvent migrer dans le lixiviat. Les types de matières plastiques les plus courants sont le PVC, le styrène, l'éthylène, le polystyrène, le polyvinyle et le polyéthylène. Parmi ceux-ci, le PVC demeure le plus inquiétant, car le pouvoir cancérogène d'un de ses principaux constituants, le chlorure de vinyle, est bien démontré chez les espèces animales (Santé Canada, 1996). La présence de chlorure de vinyle dans le lixiviat de certains sites d'enfouissement a été associée au processus de décomposition bactérienne de solvants chlorés comme le trichloréthylène et le tétrachloroéthylène (Greenberg, 1987 cité dans Cartier, 1996).

La toxicité des matières plastiques tire son origine principalement des substances ajoutées par les industries afin d'augmenter leur résistance mécanique, à la lumière et à la chaleur: les agents plastifiants et les stabilisants. Parmi ces substances, les agents plastifiants, qui sont utilisés pour accroître la flexibilité du plastique, les phtalates retiennent particulièrement l'attention des experts en santé publique. En effet, plusieurs études associent l'exposition aux phtalates à une perturbation hormonale chez les êtres vivants (effet oestrogénique) (Cartier, 1996).

Ils les perturbent en imitant une hormone naturelle ou en bloquant son activité. Les probabilités sont élevées, qu'à un moment ou à un autre, des monomères constituant les phtalates migrent et soient libérés dans l'environnement, ce qui pourrait entraîner une contamination des organismes vivant dans le voisinage des LES (Cartier, 1996).

Plusieurs substances organiques libérées dans l'environnement par le lixiviat, particulièrement les composés organiques volatils, peuvent engendrer des risques sur la santé très sérieux si les humains y sont exposés pendant de longues années. Celles qui sont le plus fréquemment citées sont: le benzène, les chlorophénols, le chlorure de vinyle (composante majeure du PVC) et le tétrachlorure de carbone (CSE, 1993; Cartier, 1996; Beaudet et Boyer, 1999; Carrier et Duclos, 1993 cité dans Québec, 1993). Selon la littérature scientifique, diverses d'entre elles, peuvent causer des effets irréversibles sur les systèmes reproducteur, respiratoire, nerveux, immunitaire, rénal et digestif (Santé Canada, 1996) (voir tab. 2.2). Le benzène, le chlorure de vinyle et le tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane), trois composés organiques volatils, sont soit reconnus pour être des agents cancérigènes, ou suspectés d'en être. De plus, diverses études démontrent que le chlorure de vinyle est un agent tératogène, c'est-à-dire qu'il accroît les anomalies du développement du fœtus en traversant la barrière placentaire et du nouveau-né (Santé Canada, 1996). Avortements spontanés, malformations congénitales et autres anomalies chez les nouveaux-nés sont au nombre des conséquences possibles. Le tableau 2.3 détaille les risques à la santé associés à l'exposition aux principales substances organiques libérées par le lixiviat des lieux d'enfouissement sanitaire.

**TABIEAU 2.3**

**Risques à la santé associés à une exposition à long terme aux principales substances organiques retrouvées dans le lixiviat**

Risque de dysfonctionnement au niveau :	Benzène	Chlorophénols	Chlorure de vinyle	Tétrachlorure de carbone
Du système cardiaque				•
Du système digestif (foie, estomac, etc.)		•	•	•
Du système endocrinien			•	
Du système immunitaire	•	•		
Du système nerveux		•	•	•
Du système osseux			•	
Du système rénal (reins)				•
Du système respiratoire (poumons)			•	•
Du système sanguin (ex. : anémies, leucémies, etc.)	•	•	•	
Du système reproducteur			•	•
Potentiel cancérigène*				
Groupe I	•		•	
Groupe II		•		•
Groupe IIIA		•		
Groupe IIIB		•		
Groupe VA		•		
Potentiel mutagène		•	•	
Potentiel tératogène		•	•	•
Concentration maximale acceptable (CMA) dans l'eau potable	0,005 mg/L (5 µg/L)	0,9 à 0,005 mg/L (900 à 5 µg/L)	0,002 mg/L (2 µg/L)	0,005 mg/L (5 µg/L)

\*Voir la définition de la classification à la p. 12

Inspiré de Carrier et Duclos, 1993 dans Québec, 1993; CSE, 1993; Santé Canada, 1996a (voir les références entières à la fin du document)

### 2.1.2.3 Les microorganismes pathogènes et les risques à la santé humaine

Plusieurs matières résiduelles qui composent nos poubelles sont des sources de prolifération des microorganismes pathogènes. On peut mentionner entre autres, les selles d'animaux domestiques, les couches ainsi que les résidus de jardin ou de nourriture, des boues de stations d'épuration municipales et industrielles (CSE, 1993). Les principaux microorganismes recensés dans les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) ainsi que les risques à la santé humaine suite à une exposition sont détaillés au tableau 2.3. Les microorganismes pathogènes peuvent être regroupés en trois catégories : les bactéries, les protozoaires et les virus. Certains facteurs influencent la survie des microorganismes dans l'environnement : la température, le pH, le taux d'humidité.

De façon générale, les températures très froides amenant la congélation diminuent sensiblement les chances de survie des bactéries et des protozoaires (Lamontagne, sans date). Cependant, certains virus peuvent résister pendant plusieurs mois, voire des années, à des températures très froides. Comme il a déjà été mentionné précédemment, le vecteur d'exposition le plus probable demeure la consommation d'une eau potable dont la source a été contaminée. Les origines de la contamination sont diverses : activités agricoles, rejets des eaux usées et/ou LES. En effet, un LES peut être une source de contamination microbiologique, car bien que le sol d'un LES joue naturellement un rôle de filtre, il ne peut retenir qu'une partie du lixiviat servant de véhicule aux microorganismes pathogènes. On pourrait croire que le captage et le traitement du lixiviat a pour conséquence d'éliminer une grande quantité de microorganismes. Malheureusement, près de la moitié des LES ne sont pas munis d'un système de captage de lixiviat et les résultats d'une étude montrent, non pas une diminution, mais bien une croissance des microorganismes suite au traitement de lixiviat par la méthode la plus courante au Québec (Cabral et al., 1997; Frigon et al., 1992). Le tableau 2.3 donne un aperçu des microorganismes pathogènes pouvant être véhiculé par le lixiviat vers les cours d'eau.

Selon le ministère de la santé québécois, les principaux pathogènes impliqués dans les atteintes à la santé humaine sont *Campylobacter* sp., *Escherichia coli*, *Giardia* sp., *Salmonella* sp. et *Yersinia enterocolitica* (MSSQ, 1996). Les infections causées par ces microorganismes sont répertoriées dans la liste des maladies à déclaration obligatoire, c'est-à-dire qu'elles font l'objet d'une surveillance de Santé Canada (Santé Canada, 1998). Divers intervenants en santé publique croient cependant que l'ampleur des atteintes à la santé de la population québécoise causées par la contamination microbiologique en général demeure sous-estimée en raison des lacunes du réseau en santé publique et du faible nombre de personnes atteintes d'une gastro-entérite qui consultent un médecin (Levallois, 1995a; Bolduc, 1998).

En effet, les principaux symptômes lorsqu'un individu a ingéré des microorganismes pathogènes sont une diarrhée, une céphalée, des crampes abdominales et des nausées. Toutefois, les atteintes à la santé humaine peuvent varier selon l'espèce. Celles-ci sont décrites au tableau 2.4.

Plusieurs matières résiduelles qui composent nos poubelles sont des sources de prolifération des microorganismes pathogènes.

## TARIFEAU 2.4

### Risques à la santé associés à l'exposition aux microorganismes pathogènes retrouvés dans le lixiviat

#### Microorganismes pathogènes ou maladies

Risques à la santé	Campylobacter <sup>4</sup>	Escherichia Coli <sup>3,4</sup>	Giardia lamblia <sup>4</sup>	Leptospirose <sup>2</sup>	Salmonelles <sup>3,4</sup>	Shigelles <sup>3,4</sup>
Anémie				•		
Anomalies dans les selles	•		•			•
Céphalée	•			•		
Crampes abdominales		•	•		•	
Diarrhée	•	•	•		•	•
Douleurs musculaires	•					
Fatigue			•			
Fièvre	•	•		•	•	•
Maux de tête						
Méningite						
Perte de poids			•			
Pneumonie				•		
Syndrome de Guillaume-Barre (paralyse progressive)	•					
Syndrome hémolytique et urémique (SHU) (destruction des globules rouges et insuffisance rénale)		•				
Troubles de reproduction Accouchement prématuré Enfant mort-né						
Troubles du système cardiaque						
Vomissements	•	•		•	•	•

Inspiré de Carrier et Duclos, 1993 dans BAPE 1993 (1);, 1991 (2); Santé Canada, 1996b, Santé Canada, 1998

N.B. Pour les références complètes, voir la liste de références à la fin du document.



## TABLEAU 2.4

### Risques à la santé associés à l'exposition aux microorganismes pathogènes retrouvés dans le lixiviat

Symptôme à la santé	Virus			
	Poliovirus <sup>2</sup>	Virus de l'hépatite A <sup>1</sup>	Virus de Norwalk <sup>1</sup>	Yersinia enterocolitica <sup>1</sup>
Anémie				
Anomalies dans les selles				
Céphalée			•	•
Crampes abdominales			•	•
Diarrhée				•
Douleurs musculaires				
Fatigue		•		
Fièvre	•		•	•
Jaunisse		•		
Maux de tête	•			
Méningite				
Paralysie	•			
Perte de poids				
Pneumonie				
Syndrome de Guillaume-Barre (paralysie progressive)				
Syndrome hémolytique et urémique (SHU) (destruction des globules rouges et insuffisance rénale)				
Troubles de reproduction Accouchement prématuré Enfant mort-né				
Troubles du système cardiaque				
Vomissements	•	•	•	•

Inspiré de Carrier et Duclos, 1993 dans BAPE 1993 (1), 1991 (2), Santé Canada, 1996b, Santé Canada, 1998

N.B. Pour les références complètes, voir la liste de références à la fin du document.

### 2.1.3 Les normes visant à contrôler les eaux de lixiviation

Au niveau légal, c'est la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q.-2) qui énonce les règles à suivre en matière de gestion des matières résiduelles. Plus précisément, c'est le Règlement sur les déchets solides, inclus à l'intérieur de cette loi qui, depuis 1978, indiquent les normes à respecter en matière de rejets des eaux de lixiviation dans l'environnement (Québec, 1993). En pratique, le ministère de l'Environnement du Québec se fie toutefois depuis quelques années sur des normes plus récentes, notamment celles indiquées dans le Projet de règlement sur la mise en décharge et l'incinération des déchets. Cependant, un nouveau règlement remplaçant ce dernier devrait entrer en vigueur sous peu, soit le Règlement sur l'élimination des matières résiduelles. Le tableau 2.5 permet de comparer les normes de rejet du lixiviat dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines de l'actuel règlement et de celui qui sera incessamment mis en vigueur. Étant donné que l'application à part entière du nouveau règlement ne se concrétisera pas avant quelques années, nous décrivons sommairement les moyens utilisés par les propriétaires de lieux d'enfouissement sanitaires (LES) pour se conformer aux normes de rejet du lixiviat édictées par le Règlement sur les déchets solides.

Officiellement les trois principaux concepts de base pour réduire la contamination provenant du lixiviat des LES sont le confinement, l'atténuation naturelle et le captage du lixiviat. Il faut rappeler que même si les lacunes du principe de l'atténuation naturelle pour assurer la protection de l'environnement ont été démontrées, les gestionnaires se sont basés principalement sur celui-ci pour autoriser le développement de la majorité des lieux d'enfouissement sanitaire (LES) existants au Québec jusqu'à tout récemment (Cabral et al., 1997) (voir tab. 2.1). Même si le développement d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) n'est, dans la pratique, plus autorisé sur cette base depuis quelques années, nous l'expliquerons brièvement, car la libération des contaminants d'une portion importante de LES existants, elle, continuera.

## Le confinement

Le confinement est basé sur le principe que plus le matériel utilisé pour contenir les matières résiduelles d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) est imperméable, plus il retiendra les contaminants. La libération du lixiviat et de ses contaminants à l'extérieur du site d'enfouissement, que ce soit dans l'eau ou dans le sol, devrait ainsi prendre plus de temps. Les principaux types de matériel utilisé à cet effet sont énumérés à la section introduction de ce document. Pour le matériel naturel, on distingue un gradient de performance selon les divers types de sol. Les plus performants étant les sols argileux, alors que les moins efficaces pour retenir les contaminants étant les sols sableux (Cabral et al., 1997).

Selon une étude publiée en 1997, seulement 9 sur 73 sites d'enfouissement québécois étaient situés sur un sol argileux et seulement trois (3) sites recourraient à une membrane. Ainsi, la majorité des LES québécois (83.5%), sont situés sur un sol plus ou moins étanche et donc retenant plus ou moins les contaminants. De plus, il faut ajouter qu'il existe une multitude de zones d'incertitudes face à l'efficacité des matériaux, tant naturels que synthétiques, servant au confinement du lixiviat afin de conserver les contaminants (Chapuis et Marcotte, 1991; Gagné, 1995; Québec, 1997).

## L'atténuation naturelle

Comme nous venons de le voir, plusieurs LES ont, dans le passé, obtenu un permis d'autorisation pour enfouir les matières résiduelles, non selon le principe que le matériel de confinement servant à isoler les résidus permettra de réduire efficacement la libération des contaminants dans l'environnement, mais sur celui de l'atténuation naturelle. Le concept d'atténuation naturelle mise sur le pouvoir épurateur naturel du sol où seront enfouies les matières résiduelles. Les principaux mécanismes naturels qui permettraient une diminution de la contamination de l'environnement sont la dégradation biochimique du lixiviat et la rétention des contaminants sur les particules du sol (Cabral et al., 1997). Ces mécanismes s'avèrent peu efficaces pour empêcher la contamination des composantes de l'environnement par les eaux de lixiviation. Le bilan du Plan d'action pour l'évaluation et la réhabilitation des lieux d'enfouissement sanitaire (PAERLES) réalisé par le ministère de l'Environnement québécois confirme cet état de fait. En effet, 61% des lieux par atténuation naturelle et 83% des lieux avec captage et traitement des eaux de lixiviation contaminaient des eaux de surface en 1991 (Québec, 1995).

**Selon une étude publiée en 1997, seulement 9 sur 73 sites d'enfouissement québécois étaient situés sur un sol argileux et seulement trois (3) sites recourraient à une membrane.**

**Ainsi, la majorité des LES québécois (83.5%), sont situés sur un sol plus ou moins étanche et donc retenant plus ou moins les contaminants.**



## Le captage et le traitement des eaux de lixiviation

On s'aperçoit que 41 des 73 sites d'enfouissement sont pourvus d'un système de captage des eaux de lixiviation et que parmi les sites les plus susceptibles de contaminer l'environnement, soit ceux érigés sur un sol sableux, seulement 3 sur 25 (12%) en sont pourvus (Cabral et al., 1997). À ces données fort peu réconfortantes pour la santé publique viennent s'ajouter les incertitudes liées aux technologies employées par les exploitants québécois de LES pour capter le lixiviat. En effet, une étude révèle que le lixiviat provenant d'un LES dans les Laurentides traité par la technique la plus courante au Québec ne rencontrait ni avant, ni après le traitement les normes du ministère de l'Environnement québécois pour les paramètres suivants : composés phénolés, huiles et graisses, demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et coliformes totaux (Frigon et al., 1992). Il faut souligner que bien qu'il existe divers types de traitement du lixiviat, la majorité des exploitants de LES du Québec se sont tournés vers ceux étant les plus simples et les moins onéreux, contrairement aux États-Unis. Ainsi, la technique la plus utilisée au Québec est basée sur une technique biologique anaérobie, c'est-à-dire que l'on se base sur l'activité des microorganismes qui se développent dans un milieu dépourvu d'air pour réduire la contamination du lixiviat (Frigon et al., 1992; Lisk, 1991; Parent, 1990).

**parmi les sites les plus susceptibles de contaminer l'environnement, soit ceux érigés sur un sol sableux, seulement 3 sur 25 (12%) en sont pourvus d'un système de captage des eaux de lixiviation. (Cabral et al., 1997)**

Les résultats de Frigon et al. (1992) démontrent que le traitement des étangs non aérés mécaniquement, qui est une technique anaérobie, quoique réduisant la toxicité du lixiviat, est insuffisant, car les eaux de lixiviation même après avoir subi le traitement, ne respectaient pas plusieurs normes du Règlement sur les déchets solides. Le tableau 2.5 permet de comparer les concentrations moyennes de certains contaminants du lixiviat mesurées dans un lieu d'enfouissement sanitaire québécois, les normes relatives au lixiviat et celles à l'eau potable. En conclusion, il ne faut pas oublier que tous ces palliatifs ne sont que des solutions à court ou à moyen terme.

## TABIEAU 2.5

Comparaison entre les concentrations moyennes des contaminants présents dans le lixiviat mesurées dans un lieu d'enfouissement sanitaire québécois (LES), les normes liées au rejet du lixiviat dans les eaux de surface et les normes qualité de l'eau de potable

CONTAMINANTS :	LIXIVIAT BRUT D'UN LES AU QUÉBEC <sup>1</sup> (MG/L)	NORMES DE REJET DU LIXIVIAT EAUX DE SURFACE (MG/L)		NORMES DE L'EAU POTABLE (SANTÉ CANADA) (MG/L) <sup>4</sup>	NIVEAU DU POUVOIR CANCÉROGÈNE <sup>*</sup>
		RDS <sup>2</sup> 1978	REMR <sup>3</sup> 2000		
<b>ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES</b>					
Azote ammoniacal (N)	Non mesuré	Sans norme	61	15	—
Cadmium (Cd)	Non mesuré	0.1	Sans norme	0.005	---
Chlorures (HCl)	220	1500	Sans norme	250	—
Chrome (Cr)	0.05	0.5	0.25	0.05	Groupe I
Cuivre (Cu)	<0.01	1	0.25	1	—
Cyanures (CN)	0.03	0.1	0.25	0.2	--
Fer (Fe)	265	17	15	0.3	—
Huiles et graisses	165	15	10	Sans norme	—
Manganèse (Mn)	Non mesuré	Sans norme	25	0.05	—
Mercure (Hg)	Non mesuré	0.001	0.001	0.001	--
Nickel (Ni)	0.04	1	2.8	0.02	—
Nitrates-nitrites	Non mesuré	Sans norme	Sans norme	45 mg/L (nitrates) 3,2 mg/L (nitrites)	Groupe IIIA
Phénols	138	0.02	0.25	0.3	—
Plomb (Pb)	<0.05	0.1	0.25	0.01	Groupe IIIB
Sulfates (SO <sub>4</sub> )	100	1500	Sans norme	500	—
Zinc (Zn)	0.24	1	1.9	Sans norme	--
<b>ORGANOPHÉNOLS</b>					
Benzène	Non mesuré	Sans norme	Sans norme	0.005	Groupe I
Chlorophénols	Non mesuré	Sans norme	Sans norme	de 0,9 à 0,005	Groupe II à VA
Chlorure de vinyle (PVC)	Non mesuré	Sans norme	Sans norme	0.002	Groupe I
Dichlorométhane				0.05	Groupe II
Tétrachloro-éthylène					Groupe II
Tétrachlorure de carbone	Non mesuré	Sans norme	Sans norme	0.005	Groupe II
Toluène				<0.024	—
Trichloroéthane				0.05	—
Xylène				<0.3	—
<b>BIOLOGIQUES</b>					
Coliformes fécaux	<10	200	--	0	—
Coliformes totaux	230	2400	10 000	10	--

\* Voir la définition des classes du potentiel cancérigène à la p. 18

1 Frigon et al., 1992 (1)

2 RDS : Règlement sur les déchets solides, 1978

3 REMR : Règlement sur l'élimination des matières résiduelles, 2000

4 Santé Canada, 1996

N.B. Pour les références complètes, voir la liste de références à la fin du document.

## 2.2 Le biogaz

Le biogaz est un gaz combustible qui se forme suite à la décomposition des matières résiduelles organiques en milieu anaérobie, c'est-à-dire sans oxygène (Parent, 1990). Les résidus domestiques suivants composeraient les matières organiques d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) typique: les papiers, les résidus de jardins, les résidus alimentaires, les plastiques, le bois, le cuir et le caoutchouc et les textiles (tableau 2.6) (Lisk, 1991). Parmi les matières organiques, les résidus alimentaires et les résidus de jardin, que l'on nomme matières putrescibles, représentaient en 1992 une proportion élevée des résidus domestiques éliminés, soit 30,6% (Cartier, 1996).

**TABIEAU 2.6**

**Composition typique des matières résiduelles organiques d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES)**

TYPE DE MATIÈRES ORGANIQUES	COMPOSITION (%)
Papiers	50,2
Résidus de jardins	17,8
Résidus alimentaires	16,8
Plastiques	5,2
Bois	4,6
Cuir et caoutchouc	3,4
Textiles	2,0
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

Inspiré de Lisk, 1991. « Environmental Effects of Landfills ». *The Science of the Total Environment*, vol. 100, p. 416.

Trois processus interdépendants interviennent dans la décomposition des matières résiduelles organiques enfouies. Ces processus sont d'ordre physique, chimique et biologique. Le premier processus de décomposition à se produire est d'ordre physique : les matières résiduelles se divisent en plus petites constituantes en raison de facteurs extérieurs tels le brassage mécanique et le rinçage (CSE, 1993 ; Drouin et al., 1993). La deuxième transformation est d'ordre chimique et implique diverses réactions se produisant entre les molécules des matières résiduelles : l'hydrolyse, la dissolution-précipitation, les échanges d'ions, etc. (Québec, 1993). Finalement, la troisième et principale modification subie par les matières résiduelles conduisant à la formation de biogaz est d'ordre biologique, c'est-à-dire qu'elle est engendrée par l'activité de milliers de microorganismes. Cette décomposition biologique implique quatre étapes qui peuvent durer plusieurs dizaines d'années : aérobie, anaérobie non méthanogène, anaérobie méthanogène instable et anaérobie méthanogène stable (Lisk, 1991). C'est de cette façon qu'une portion des matières résiduelles enfouies sous forme solide se retrouve sous forme gazeuse. La résultante de ce processus est composé de diverses substances sous forme gazeuse. Le tableau 2.7 rapporte la composition typique du biogaz libéré par un LES.

## TARIEAU 2.7

### Composition typique du biogaz libéré par un lieu d'enfouissement sanitaire

SUBSTANCES	COMPOSITION (%)
Méthane (CH <sub>4</sub> )	47,4
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	47
Azote (N <sub>2</sub> )	3,7
Oxygène (O <sub>2</sub> )	0,8
Composés traces	0,5
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	0,1
Monoxyde de carbone (CO)	0,1
Hydrocarbures aromatiques	0,2
Hydrocarbures paraffiniques (éthane, propane, cyclohexane)	0,1
Sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S)	0,01

Inspiré de Lisk: 1991. « Environmental Effects of Landfills ». *The Science of the Total Environment*, vol. 100, p. 431.

Parmi les composants du biogaz, ce sont les hydrocarbures aromatiques et les composés traces, particulièrement les composés organiques volatils (COV), qui sont davantage préoccupants pour la santé publique. En effet, bien que ces substances ne représentent qu'un faible pourcentage de la composition du biogaz, plusieurs d'entre elles sont reconnues par plusieurs études comme toxiques même à de très faibles concentrations d'exposition et comme agents cancérigènes (Santé Canada, 1996, Santé Canada, sans date). Il faut souligner que la composition d'un biogaz peut varier selon divers facteurs tels le stade de décomposition du LES, la nature et la quantité de matières résiduelles enfouies, les conditions atmosphériques et les caractéristiques propres du LES (topographie, hydrogéologie, etc.) (CSE, 1993). La section suivante résume les risques sanitaires et environnementaux associés à la libération dans l'environnement des principaux contaminants composant le biogaz.

## 2.2.1 Le biogaz et les risques pour la santé humaine

Peu de recherches ont étudié l'impact direct de l'exposition des humains à l'ensemble des substances formant les biogaz. Cependant, trois recherches ont été effectuées entre 1994 et 1998 sur les risques sanitaires des citoyens résidant aux environs du Complexe environnemental Saint-Michel (CESM), lieu où étaient enfouies les matières putrescibles de l'île de Montréal jusqu'à tout récemment. Bien que les résultats de l'étude publiée en 1999 ne soient pas statistiquement concluants, ils suggèrent des associations possibles entre le fait de demeurer près du CESM et le fait de développer, pour les hommes, des lymphomes non hodgkiniens et divers types de cancers: du foie, du rein et du pancréas (Goldberg et al., 1999). Ainsi, le risque de développer un cancer du foie, un cancer du pancréas ou un lymphome non hodgkinien serait plus élevé pour les hommes résidant à l'intérieur d'un rayon de 1,25 km du lieu d'enfouissement.

Chez les femmes, le niveau de risque de développer un cancer de l'estomac et un cancer de l'utérus serait élevé (Goldberg et al., 1995a). De plus, les résultats démontreraient qu'il y a un excès de risque significatif pour les femmes d'enfanter un nouveau-né de faible poids à la naissance (Goldberg et al., 1995b). D'autres études épidémiologiques ont trouvé des impacts négatifs similaires sur le système reproducteur des femmes exposées à certains contaminants libérés par les lieux d'enfouissement, tels les COV et sur leur progéniture: naissance prématurée, malformations congénitales, avortements spontanés, etc. (Santé Canada, 1996; sans date).

**Ainsi, le risque de développer un cancer du foie, un cancer du pancréas ou un lymphome non hodgkinien serait plus élevé pour les hommes résidant à l'intérieur d'un rayon de 1,25 km du Complexe environnemental Saint-Michel.**

Les auteurs n'établissent pas de liens formels entre ces maladies et les biogaz émis, mais ils mentionnent que plusieurs composés organiques volatils (COV) présents dans le biogaz, tels le benzène et le chlorure de vinyle, sont reconnus comme étant des agents cancérigènes pour l'humain. Le chlorure de vinyle est considéré par les spécialistes en santé internationaux comme une substance cancérigène affectant particulièrement le foie. Selon les auteurs de cette étude, il est peu probable que l'excès de risque à cet égard soit causé par d'autres causes, telles la consommation excessive d'alcool ou de cigarettes, car les personnes ayant un dossier médical indiquant ces deux facteurs de risque ont été éliminées de l'enquête. Nous expliquerons dans les paragraphes suivants les tableaux 2.8 et 2.9 énumérant les risques pour la santé associés aux principales substances toxiques présentes dans le biogaz.

### 2.2.1.1 Le méthane

Les principaux risques à la santé publique, à l'exception de celui consistant à contribuer à l'effet de serre qui est discuté ultérieurement dans cette section, associés au méthane sont les blessures ou la mort engendrées par l'asphyxie et les incendies (Drouin et al., 1993). En effet, le méthane est un gaz combustible. Il peut s'accumuler à l'intérieur du lieu d'enfouissement ou à l'extérieur de celui-ci suite à une migration latérale à travers le sol. Si sa concentration dans l'air atteint entre 5 et 15%, il peut causer des explosions et des incendies et conséquemment causer la mort, des blessures et des dommages à la propriété (CSE, 1993). De 1975 à 1987, l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis a recensé 31 événements accidentels dus à la migration latérale du biogaz (Drouin et al., 1993). Plus près de nous, deux travailleurs du LES de Montréal, nommé Centre de tri et d'élimination des déchets (CTED) en 1991, année pendant laquelle a lieu l'accident, ont été hospitalisés en raison de l'inhalation de biogaz et un autre en est mort accidentellement (Gingras, 1991).

**TABIEAU 2.8**

**Risques à la santé associés à une exposition  
des principaux contaminants retrouvés dans le biogaz**

**CONTAMINÉS**

**Méthane (CH<sub>4</sub>)**

**Monoxyde de carbone (CO)**

**Composés sulfurés**

(disulfure de carbone (S<sub>2</sub>C)  
et sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S))

**RISQUES ASSOCIÉS À UNE EXPOSITION**

- Asphyxie ;
- Blessures ;
- Explosions et incendies ;
- Mort.

- Asphyxie
- Étourdissements ;
- Maux de tête ;
- Nausées.
- Troubles cardio-respiratoires (angine)

- Troubles cardiaques ;
- Troubles nerveux ;
- Troubles respiratoires.

Exposition chronique :

- Potentiel mutagène \* :
  - Aberrations chromosomiques.
- Effets sur la reproduction et tératogénicité
  - Anomalies des appareils urogénital et squelettique chez les embryons ;
  - Troubles de l'ossification ;
  - Troubles des reins ;
  - Troubles de la formation du sang.

### 2.2.2.2 Les composés organiques volatils (COV)

Plusieurs composés organiques volatils libérés dans l'environnement par le biogaz peuvent engendrer des risques sur la santé très sérieux si les humains y sont exposés pendant de longues années. Ceux qui sont le plus fréquemment cités sont: le benzène, les chlorophénols; le chlorure de vinyle (principale composante du PVC) et le tétrachlorure de carbone (Beaudet et Boyer, 1999; Cartier, 1996; CSE, 1993; Drouin et al., 1993). Plusieurs d'entre eux, peuvent causer des effets irréversibles sur les systèmes reproducteur, respiratoire, nerveux, immunitaire, rénal et digestif. (Santé Canada, 1996) (tableau 2.8). Le benzène, le chlorure de vinyle et le tétrachlorure de carbone, trois composés organiques volatils, sont soit reconnus pour être des agents cancérigènes, ou suspectés d'en être. De plus, diverses études démontrent que le chlorure de vinyle est un agent tératogène, c'est-à-dire qu'il accroît les anomalies du développement du fœtus en traversant la barrière placentaire et du nouveau-né (Santé Canada, 1996). Avortements spontanés, malformations congénitales et autres anomalies chez les nouveaux-nés sont au nombre des conséquences possibles. Le tableau 2.9 détaille les risques à la santé associés à l'exposition aux principaux composés organiques volatils libérés par le biogaz. Il faut souligner que les composés organiques volatils mentionnés dans ce tableau sont tous retrouvés à l'ancien site d'enfouissement de l'île de Montréal maintenant appelé Complexe environnemental Saint-Michel.

**TABLEAU 2.9**

**Risques pour la santé suite à une exposition chronique à certains composés organiques volatils (COV) retrouvés dans le biogaz**

Risque de dysfonctionnement au niveau :	Benzène	Chlorure de vinyle	Dichloro-n,2-éthane	Dichlorométhane	Tétrachloroéthylène	Tétrachlorure de carbone	Toluène et xylène	Trichloroéthylène
Du système cardiaque				•		•		
Du système digestif (foie, estomac, etc.)		•	•	•		•		•
Du système endocrinien		•	•					
Du système immunitaire	•							
Du système nerveux		•		•	•	•		
Du système osseux		•						
Du système rénal (reins)				•	•	•		•
Du système respiratoire (poumons)		•	•	•		•	•	•
Du système sanguin (ex. : anémies, leucémies, etc.)	•	•		•	•			
Du système reproducteur		•				•		
Potentiel cancérigène*			•					
Groupe I	•	•				•		
Groupe II				•	•	•		
Groupe IIIA								
Groupe IIIB								•
Groupe VA								
Potentiel mutagène		•	•	•				•
Potentiel tératogène		•		•		•		

Inspiré de Carrier et Ducloux, 1993 dans BAPE, 1993; Drouin et al., 1992 dans CSE, 1993; Santé Canada, 1996a, Santé Canada, sans date; Tortora et al., 1994 et Domart et Bourneur, 1981.

N.B. Pour les sources complètes, voir la liste de références à la fin du document.



### 2.2.2.3 Les odeurs

Les odeurs nauséabondes provenant d'un LES sont principalement dues au biogaz qui contient des composés sulfurés, tels le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et les mercaptants (Québec, 1994). Ces substances ont comme caractéristique de libérer une odeur d'œufs pourris qui persiste sur de longues distances même à de faibles concentrations. Les matières résiduelles enfouies, telles les solvants, les colles et les peintures, constituent une source secondaire d'odeurs. Ces odeurs peuvent occasionner divers risques à la santé publique, principalement d'ordre psychosocial, qui sont énumérés au tableau 2.10. Par risque à la santé d'ordre psychosocial, on entend « un état de détresse, de dysfonction et d'incapacité se manifestant par une vaste gamme d'issues psychologiques, sociales, et comportementales » (Elliot, 1993 cité par Proulx et Duclos, p. 4).

#### TABIEAU 2.10

#### Risques à la santé humaine biologiques et psychosociaux liés à l'exposition aux odeurs libérés par le biogaz

##### Risques à la santé publique

**Au niveau biologique**  
(associé aux composés sulfurés).

##### Au niveau psychosocial

##### Type de risque

Exposition aiguë :

- Nausées;
- Douleurs épigastriques;
- Irritations des muqueuses;
- Troubles cardiaques;
- Troubles nerveux;
- Troubles respiratoires.

Exposition chronique :

- Potentiel mutagène \* :
  - Aberrations chromosomiques.
- Effets sur la reproduction et tératogénicité\* :
  - Anomalies des appareils urogénital et squelettique chez les embryons;
  - Troubles de l'ossification;
  - Troubles des reins;
  - Troubles de la formation du sang;
  - Troubles du foie.
- Nuisance au sentiment de bien-être;
- Absence de motivation à revenir à la maison;
- Diminution des activités extérieures;
- Réduction des rencontres sociales;
- Interférence, nuisance à la communication;
- Diminution du seuil de tolérance, colères plus fréquentes;
- Déclenchement ou exacerbation des tensions familiales;
- Diminution de l'appétit.

Inspiré de Santé Canada, 1996 et de Proulx et Duclos, 1994.

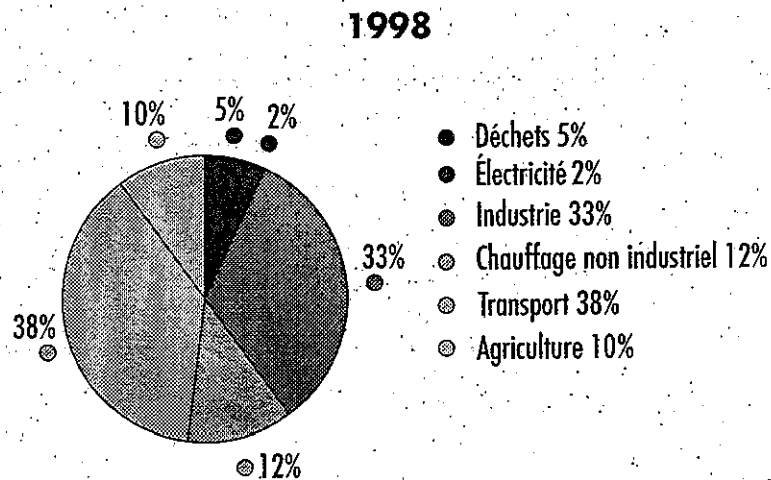
N.B. Pour les références complètes, voir la liste de références à la fin du document.



#### 2.2.2.4 Les gaz à effet de serre

FIGURE 2.2

Émissions des gaz à effet de serre au Québec en 1998



Le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), qui forment généralement plus de 90% du biogaz, sont deux gaz à effet de serre libérés dans l'atmosphère par les LES, dont la réduction est prioritaire pour le Plan d'action québécois sur les changements climatiques (Lisk 1991; Québec, 2000). Ceci explique la raison pour laquelle l'élimination des matières résiduelles dans les LES constitue un des secteurs d'activité de la société québécoise qui intéresse particulièrement le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Lisk 1990; Québec, 2000) (figure 2.2). Plus précisément, sa contribution aux émissions de gaz à effet de serre représente 5%.

Les gaz à effet de serre agissent de façon similaire aux vitres d'une serre qui retiennent la chaleur du soleil à l'intérieur. Bien que ce phénomène lorsqu'il est équilibré, soit à l'origine de la vie sur terre, les activités humaines seraient responsables d'un déséquilibre en libérant des concentrations élevées de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Québec, 2000). Ce phénomène entraînerait un réchauffement global de la surface de la Terre comportant des risques importants tant aux niveaux sanitaires, environnementaux qu'économiques. Nous résumons dans cette section les impacts potentiels sur la santé publique d'un réchauffement de la surface terrestre en lien avec les gaz à effet de serre contenus dans le biogaz.

**Le réchauffement de la planète risque d'avoir diverses conséquences préjudiciables pour la santé humaine et d'accroître sensiblement la mortalité.**

Selön le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le réchauffement de la planète risque d'avoir diverses conséquences préjudiciables pour la santé humaine et d'accroître sensiblement la mortalité (Québec, 2000, p. 17). En effet, les scientifiques prévoient notamment un accroissement de l'incidence de maladies infectieuses contractées par l'être humain en raison de l'expansion vers le Nord de l'aire d'influence de certains microorganismes pathogènes qui auparavant ne se retrouvaient que dans le Sud. De plus, l'augmentation de la température pourrait mener à une dégradation de la qualité de l'air, à l'accroissement du smog et à la prolifération des pollens, poussières et autres particules susceptibles d'aggraver les problèmes d'allergies et d'asthme. Par exemple, le taux d'hospitalisation chez les enfants canadiens souffrant d'asthme a augmenté de 18% chez les filles et de 28% chez les garçons de 1980 à 1990. Les problèmes respiratoires, tel l'asthme, sont souvent associés à l'accroissement du smog dans les villes. Les groupes de la société les plus vulnérables à ces impacts sur la santé sont les enfants et les personnes âgées. Le principal élément du smog est l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) qui se forme relativement près de la surface de la Terre (sur une distance de 10 km) et qui présente des risques pour la santé publique (Tushingam et Lalonde, 1995). Il ne faut pas confondre l'ozone troposphérique à l'ozone stratosphérique qui est bénéfique pour la Terre en formant une couche protectrice contre les rayons du soleil et qui est situé entre 10 et 60 km de la surface du globe (Bisson, 1986).

L'ozone qui constitue le principal composant du smog est formé d'oxydes d'azote (NOx) qui réagissent avec les composés organiques volatils (COV), deux substances retrouvées dans le biogaz (Tushingam et Lalonde, 1995). Selon le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), le Québec est une des provinces où les concentrations de l'ozone troposphérique dans l'atmosphère sont préoccupantes et dans laquelle il est urgent d'initier des actions visant à réduire les émissions de NOx et de COV. Les gaz frigorigènes, tel le chlorofluorocarbène (CFC), provenant d'appareils de climatisation et de réfrigération enfouis dans les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) contribuent pour leur part à la dégradation de la couche d'ozone (celle qui sert de protection pour la Terre) (Cartier, 1996; Tushingam et Lalonde, 1995). Le tableau 2.11 résume les risques à la santé associés au réchauffement de la planète (aux gaz à effet de serre et à ceux contribuant à détruire la couche d'ozone protectrice).

## TABIEAU 2.11

### Les composantes du biogaz impliquées dans le réchauffement de la planète et les risques à la santé

#### SUBSTANCES

##### (GAZ À EFFET DE SERRE ET GAZ AFFECTANT LA COUCHE D'OZONE)

Composés organiques volatils (COV)  
Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)  
Gaz frigorigènes (CFC)  
Méthane (CH<sub>4</sub>)  
Oxydes d'azote (Nox)

#### RISQUES À LA SANTÉ

##### Exposition aiguë

- Essoufflement;
- Éternuements;
- Maux de tête;
- Nausées;
- Sécheresse de la gorge;
- Oppression et douleurs thoraciques.

##### Exposition chronique

- Dysfonctionnements du système respiratoire;
- Maladies pulmonaires chroniques.

Inspiré de Québec, 2000 et Tushingam et Lalonde, 1995 (voir les références complètes à la fin de ce document)

### 2.3.2 Législation relative au contrôle du biogaz

Le Règlement sur les déchets solides n'oblige pas systématiquement le contrôle des biogaz, toutefois le gouvernement s'apprête à remplacer ce dernier par le Règlement sur l'élimination des matières résiduelles qui obligera tout nouveau lieu d'enfouissement important à capter et à brûler les biogaz qu'il produit (Québec, 2000). Ainsi, les LES québécois munis d'un système de captage des biogaz étaient l'exception en 1993 (CSE, 1993). Malheureusement, même si le biogaz est partiellement récupéré pour servir d'énergie, le processus de combustion utilisé pour y arriver génère des substances, telles les dioxines et les furannes, considérées très toxiques pour la santé humaine malgré la faible quantité libérée.

La section suivante rapporte d'ailleurs les risques pour la santé publique suite à l'exposition aux substances libérées par l'incinération des matières résiduelles municipales. Finalement, rappelons que les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) émettent des gaz à effet de serre (GES) (méthane, dioxyde de carbone, COV) et que cela représente 5% du total des GES émis par le Québec. Cette situation est d'autant plus désolante que le Québec est une des provinces où les concentrations d'ozone troposphérique dans l'atmosphère sont préoccupantes selon Environnement Canada (Tushingham et Lalonde, 1995). Malgré cela, il n'existe toujours pas de normes provinciales relatives aux émissions de biogaz dans l'atmosphère.

**Les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) émettent des gaz à effet de serre (GES) (méthane, dioxyde de carbone, COV) représentant 5% des émissions totales des GES du Québec.**