

ELKEM METAL CANADA INC.

ÉVALUATION DES RISQUES RELIÉS À LA PRÉSENCE DE MANGANÈSE AU SITE DE L'USINE DE BEAUHARNOIS

Rapport final

Novembre 1998



3950, boul. de la Chaudière
Bureau 140
Sainte-Foy (Québec)
Canada
G1X 4M8
Tél. : (418) 657-6859
Fax : (418) 657-1325
email : cjbi@mblink.net

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION	1
2 CONTEXTE ENVIRONNANT ET ÉTAT DES LIEUX	2
2.1 CONTEXTE ENVIRONNANT.....	2
2.2 ÉTAT DES LIEUX.....	2
2.2.1 Sols 2	
2.2.2 Eau souterraine	4
3 ÉVALUATION DES RISQUES TOXICOLOGIQUES À LA SANTÉ HUMAINE	5
3.1 SCÉNARIOS CONSIDÉRÉS.....	5
3.1.1 Population cible	5
3.1.2 Voies d'exposition.....	6
3.2 CARACTÉRISATION DE LA RELATION DOSE-RÉPONSE.....	7
3.3 ESTIMATION DE L'EXPOSITION	9
3.3.1 Concentration dans les médias environnementaux.....	9
3.3.2 Estimation des doses d'exposition.....	11
3.4 EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE AU MANGANÈSE.....	17
3.5 ESTIMATION DU RISQUE.....	18
3.5.1 Voie d'ingestion.....	18
3.5.2 Voie d'inhalation.....	20
3.6 FIABILITÉ DE L'ÉVALUATION	21
4 ÉVALUATION DES RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES	22
4.1 PROBLÉMATIQUE ÉCOTOXICOLOGIQUE.....	22
4.1.1 Objectif général	22
4.1.2 Niveau d'évaluation du risque	22
4.1.3 Description générale de l'écosystème	22
4.1.4 Modèle conceptuel.....	23
4.1.5 Voies d'exposition.....	26
4.2 MÉTHODE D'ÉVALUATION.....	27
4.2.1 Microorganismes, plantes et invertébrés.....	27
4.2.2. Oiseaux et mammifères	27
4.3 CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DU RISQUE	34
4.3.1 Microorganismes, plantes et invertébrés.....	34
4.3.2 Oiseaux et mammifères	36
5 CONCLUSION	37
6 RESTRICTIONS	38
7 RÉFÉRENCES	39
ANNEXE 1 Photographies du site	
ANNEXE 2 Analyse des teneurs en manganèse dans les sols, l'eau, les plantes et les vers de terre (1998)	

1 INTRODUCTION

Suite à la fermeture définitive de son complexe industriel de Beauharnois en mai 1991, ELKEM MÉTAL CANADA INC. a entamé des procédures de réhabilitation de ce site. Ces procédures ont notamment consisté en la caractérisation de l'ensemble de la propriété, le retrait des réservoirs et la restauration de certains sites précis faisant l'objet d'une contamination bien identifiée.

Durant les années d'opération, l'usine produisait du silico-manganèse (Si-Mn) et du ferro-manganèse (Fe-Mn) en utilisant du minerai de manganèse (oxyde de manganèse), du charbon et des copeaux de bois qui étaient entreposés à l'extérieur dans des aires définies. Les capacités nominales de production de ferro-manganèse et de silico-manganèse étaient respectivement de 110 000 t/an et de 25 000 t/an. Le minerai passait d'abord dans un tamis, puis dans un séchoir et enfin dans un second tamis avant d'être mélangé avec d'autres éléments. Le mélange était alors envoyé dans un four à arc. Le métal était coulé sur le sol et se solidifiait. Le produit était alors concassé en fragments de différentes tailles, selon la demande du client. Les scories générées étaient entreposées en vrac sur le terrain de l'usine. En raison des différentes activités d'entreposage des matières premières et des produits finis ainsi que des émissions diverses reliées aux différentes opérations de transformation qui ont été menées sur ce site pendant plusieurs années, les sols de la propriété de ELKEM à Beauharnois présentent des teneurs élevées en manganèse.

À la demande du ministère de l'Environnement et de la Faune, et dans le cadre de la poursuite de son programme de réhabilitation, la compagnie désire maintenant savoir si les sols qui présentent des teneurs élevées en manganèse représentent un problème environnemental significatif. Plus précisément, elle a pour objectif d'évaluer les risques écotoxicologiques et toxicologiques à la santé humaine reliés à la présence du manganèse dans les sols. ELKEM a donc mandaté RISCAN afin de réaliser les analyses nécessaires.

Le document présente dans un premier temps une description du site et des teneurs de manganèse retrouvées dans les sols et l'eau souterraine. Par la suite, l'évaluation des risques toxicologiques à la santé humaine et l'évaluation des risques écotoxicologiques sont présentées.

2 CONTEXTE ENVIRONNANT ET ÉTAT DES LIEUX

2.1 CONTEXTE ENVIRONNANT

Le terrain de l'usine de ferro-manganèse ELKEM est situé à Beauharnois, près de la centrale hydroélectrique, au nord du chemin du canal, dans une zone industrielle. Le site, d'une superficie de 140 000 m², est bordé par le lac Saint-Louis au nord et par un terrain boisé privé à l'est. Les zones habitées les plus proches sont situées à environ 600 mètres de la limite est du terrain. La figure 2.1 localise le terrain à l'étude et ses environs.

2.2 ÉTAT DES LIEUX

Les observations faites lors des travaux de caractérisation effectués par Bio Géo (1995) indiquent que les sols sont constitués d'un remblai hétérogène de gravier, de scories et de silt. Le socle rocheux est peu profond; sa profondeur oscille entre 0,35 et 0,75 mètre. Plusieurs observations additionnelles ont été faites lors des visites de terrain effectuées en avril, en juillet et en octobre 1998 dans le cadre du présent mandat (voir les photographies présentées à l'annexe 1). Au cours de ces visites, des échantillons de sols de plantes et de vers de terre ont été récoltés en plus d'informations qualitatives concernant l'état et la nature des lieux ainsi que l'utilisation réelle et potentielle du milieu par la faune.

2.2.1 Sols

Lors des travaux de caractérisation antérieurs à cette étude, le manganèse a été analysé dans 12 échantillons de sol (Bio Géo, 1995). Afin de compléter cette caractérisation, 25 échantillons supplémentaires, provenant des couches superficielles de sol, ont été prélevés en juillet 1998. Les résultats de cette seconde caractérisation sont présentés à l'annexe 2.

Les concentrations de manganèse mesurées varient entre 760 et 340 000 mg/kg (voir tableau 2.1). Les concentrations les plus élevées ont été obtenues dans les échantillons de surface. En effet, dans les 50 premiers centimètres, la concentration moyenne est de 136 697 mg/kg, alors les valeurs ne dépassent pas 8200 mg/kg en profondeur. À titre de comparaison, les concentrations retrouvées dans des échantillons de sol recueillis sur des terrains non contaminés du secteur de Beauharnois varient entre 500 et 1100 mg/kg (Bio Géo, 1994).

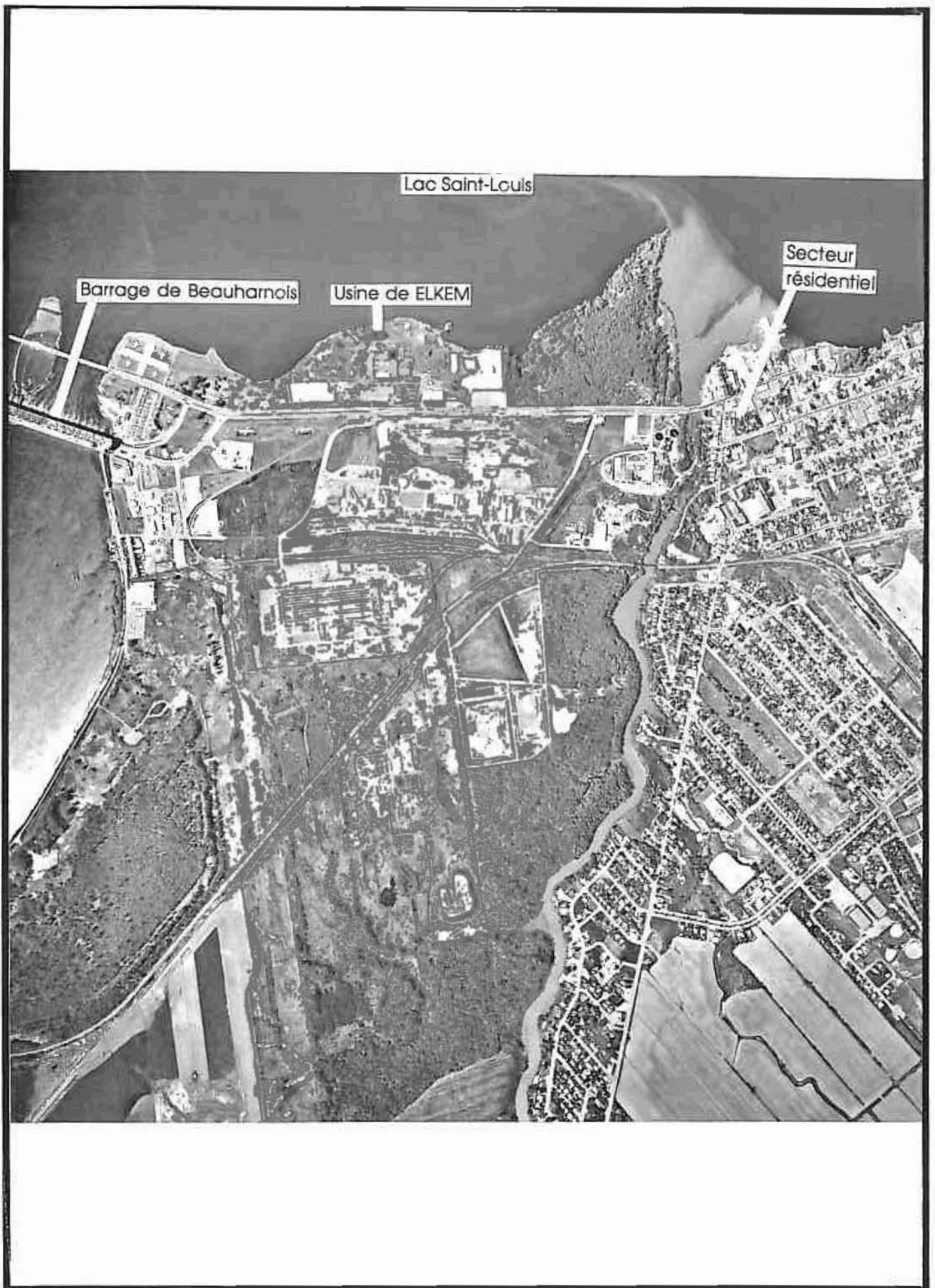


Figure 2.1 Localisation du site

Tableau 2.1 Concentrations de manganèse (mg/kg) mesurées dans les échantillons de sol

	Moyenne arithmétique	Limite sup. de l'intervalle de confiance (95 %)	Minimum	Maximum	Taille de l'échantillon
Sols de surface (0 - 0,5 mètre)	136 697	166 317	2 300	340 000	33
Sols en profondeur (0,5 mètre et plus)	2 710	6 298	760	8 200	4

Source: Blo Géo (1995) et résultats de la caractérisation effectuée en 1998 (voir résultats détaillés de cette caractérisation à l'annexe 2).

2.2.2 Eau souterraine

Selon Bio Géo (1995), l'eau souterraine s'écoule en direction nord-ouest dans le secteur de l'usine de ferro-manganèse. Dans la partie sud-est du site, les eaux s'écouleraient plutôt en direction nord. Les eaux souterraines s'écoulent donc en direction du lac Saint-Louis. Les gradients hydrauliques horizontaux varient selon les estimations de 0,024 à 0,026 mètre/mètre. Basé sur ces valeurs, la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau souterraine est évaluée à environ 1 à 2 mètres par année.

Les résultats du programme de suivi de la qualité de l'eau souterraine sont indiqués au tableau 2.2. Comme on peut le noter, les concentrations sont relativement constantes d'une campagne à l'autre. La moyenne des valeurs mesurées (toutes dates confondues) est de 0,6 mg/L. Cette valeur excède de 12 fois le critère du MEF applicable aux eaux souterraines de consommation (*Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, 1998*) et de trois fois le critère de 0,2 mg/L proposé par le CCME (*Recommandations pour la qualité de l'eau au Canada*) pour l'irrigation des sols.

Tableau 2.2 Concentrations de manganèse (mg/L) mesurées dans les échantillons d'eau souterraine

# de puits	1995 (décembre)	1996 (avril)	1997 (septembre)
F-9	<0,005	<0,02	<0,01
P-11	1,2	<0,02	3,5
P-13	-	0,09	-
P-14	-	0,3	0,09
P-15	-	0,5	1,1

Source: Blo Géo (1996, 1997)

3 ÉVALUATION DES RISQUES TOXICOLOGIQUES À LA SANTÉ HUMAINE

La démarche de l'évaluation des risques comporte diverses variantes méthodologiques. Dans le cadre de la présente étude, nous avons opté pour une approche déterministe qui vise, non pas à quantifier le risque avec exactitude, mais plutôt à s'assurer que la présence de contaminants dans les sols ne peut causer de risques importants à santé humaine. La procédure utilisée est conforme aux *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique à la santé humaine* (version préliminaire du 14 juillet 1998) du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS).

Ce chapitre est divisé en cinq sections. Dans les deux premières parties, les scénarios d'exposition et les doses de référence retenues pour les fins de l'analyse sont présentés. Les modèles utilisés pour estimer l'exposition sont ensuite décrits. La dose d'exposition environnementale (ou dose d'exposition « bruit de fond ») est présentée, pour sa part, à la section suivante. Le risque est ensuite évalué en comparant les doses d'exposition potentielles avec l'estimateur de risque. Enfin, une discussion sur la fiabilité de l'étude est présentée.

3.1 SCÉNARIOS CONSIDÉRÉS

3.1.1 Population cible

Le terrain est actuellement utilisé à des fins industrielles. Les travailleurs représentent donc le principal groupe de personnes susceptibles d'être exposées au manganèse. L'analyse a donc cherché à définir les risques pour les travailleurs qui fréquentent le site sur une base régulière. Deux groupes de travailleurs ont été considérés. Nous avons présumé que ceux du premier groupe passent 95 % de leur temps de travail dans la cour, à l'extérieur des bâtiments, tandis que les travailleurs du second groupe passent, quant à eux, 95 % de leur journée de travail à l'intérieur des bâtiments. Ces deux groupes constituent en fait les deux extrêmes d'un spectre de situations possibles sur un terrain industriel. Pour faciliter la présentation des résultats, ils seront respectivement nommés dans le document les « travailleurs de la cour » et les « employés de bureau ». Conformément aux *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique à la santé humaine*, un seul groupe d'âge sera considéré, soit celui de 20 ans et plus.

La volatilisation des contaminants peut constituer, en théorie, une source de contamination des terrains adjacents. Le manganèse n'étant pas susceptible de se volatiliser aux températures ambiantes, cette source potentielle de dispersion des contaminants peut être considérée comme nulle.

Dans certaines situations, la remise en suspension des particules contaminées peut aussi représenter une source de migration hors-site des contaminants. Par exemple, l'entreposage en vrac de matériaux particuliers sous forme de

monticules dans les zones industrielles qui sont soumises à l'érosion éolienne est susceptible de générer une dispersion du matériel vers les zones adjacentes. Même si cette voie de migration était vraisemblablement significative lors des années d'opération de l'usine lorsqu'il y avait entreposage en vrac de matériaux, elle est actuellement très improbable, compte tenu de la nature grossière et de la densité des matériaux se trouvant sur le sol, de leur compaction ainsi que de l'occupation d'une grande partie du site à des fins d'entreposage de ballots de carton. Lors des visites de terrain réalisées en avril, en juillet et en octobre 1998, aucune évidence de mise en suspension de sol (poussières sur certaines surfaces ou sur la végétation environnante) n'a d'ailleurs pu être identifiée, même si la seconde visite a eu lieu par temps sec pendant une journée de grand vent du nord-ouest alors que des camions circulaient sur le site. Il paraît donc fort peu probable que la remise en suspension des particules de sol entraîne une contamination des zones résidentielles qui sont situées à plus de 600 mètres du site. Les risques pour les résidents du secteur ne seront donc pas évalués plus à fond dans cette étude.

3.1.2 Voies d'exposition

Comme recommandé dans les lignes directrices du MSSS (1998), les voies d'exposition applicables dans le cas d'une utilisation commerciale et industrielle du territoire ont été retenues. Toutefois, puisque le terrain est desservi par le réseau d'aqueduc municipal, l'ingestion d'eau et le contact cutané avec l'eau n'ont pas été comptabilisés. Outre les voies d'exposition recommandées dans les lignes directrices, l'ingestion de particules inhalées a également été considérée. Cette voie d'exposition a été comptabilisée afin de tenir compte des mécanismes de clairance mucocilière qui peuvent s'opérer lorsque des particules de sol sont inhalées. Par ailleurs, l'absorption cutanée constituant une voie d'exposition négligeable au manganèse (International Labour Office, 1983), le contact cutané avec les sols ou les poussières n'a pas été comptabilisé dans l'étude.

Les voies d'exposition considérées dans cette étude se résument comme suit :

- l'inhalation de particules de sol en suspension dans l'air intérieur ;
- l'inhalation de particules de sol en suspension dans l'air extérieur ;
- l'ingestion de sol ;
- l'ingestion de poussières intérieures (une fraction des poussières intérieures provient des sols extérieurs) ;
- l'ingestion de particules inhalées à partir de l'air extérieur ;
- l'ingestion de particules inhalées à partir de l'air intérieur.

3.2 CARACTÉRISATION DE LA RELATION DOSE-RÉPONSE

On retrouve le manganèse dans la nature sous forme non métallique, en particulier sous forme d'oxyde, de sulfures et de silicates. On retrouve également le manganèse sous forme organique dans la biomasse animale et végétale.

Le manganèse est un élément essentiel à tous les organismes vivants. Il intervient comme cofacteur dans plusieurs réactions enzymatiques, entre autres celles impliquées dans la phosphorylation et dans la synthèse du cholestérol et des acides gras. Il est également essentiel à la formation des os et à la synthèse du chondroïtin sulfate et serait impliqué dans le fonctionnement des mélanocytes et dans le métabolisme des catécholamines dans le cerveau (Prévost, 1996).

Le manganèse peut être absorbé via la voie gastro-intestinale et pulmonaire. En condition normale, l'ingestion est la principale voie d'exposition. On estime qu'environ 3% à 5% du manganèse ingéré est absorbé par l'intestin. Une fois absorbé, le manganèse est transporté dans le sang, lié à une β_1 -globuline. Près du tiers du manganèse absorbé via l'intestin serait excrété à son premier passage dans le foie. Environ 1% du manganèse ingéré serait retenu par l'organisme. Près de 99% de l'excrétion se fait par la bile et les fèces (Prévost, 1996).

Le taux d'absorption du manganèse lors de l'inhalation est lié à la taille des particules inhalées. Les petites particules se déposent principalement au niveau pulmonaire alors que les particules de dimensions supérieures se déposent dans l'arbre trachéo-bronchique (EPA, 1998). La majeure partie du manganèse inhalé serait éliminé des voies respiratoires par le mécanisme de clairance mucociliaire. Le mucus est ingéré et le manganèse peut alors être absorbé par l'intestin. Le manganèse qui atteint le poumon est absorbé par le sang et la circulation lymphatique. Le manganèse absorbé par la voie pulmonaire serait distribué directement dans l'organisme sans subir une première clairance hépatique (Prévost, 1996).

Le manganèse est un métal considéré comme peu toxique. Les connaissances disponibles sur sa toxicité proviennent d'études effectuées chez des travailleurs exposés à des doses importantes, par la voie respiratoire. On distingue deux types d'effet toxique bien documentés dans la littérature; premièrement une toxicité pulmonaire et deuxièmement, une toxicité au niveau du système nerveux central (SNC).

Certaines études ont démontré des altérations des macrophages et une réaction inflammatoire des voies respiratoires lors de l'inhalation de manganèse. D'autres effets ont également été observés, tels que l'augmentation de la prévalence de la toux, des épisodes de bronchite, de la dyspnée à l'exercice, une altération des tests de fonction respiratoire (EPA, 1998; Calabrese et Kenyon, 1991).

Une exposition à des doses élevées de manganèse peut également causer des atteintes du SNC lors d'expositions chroniques. Dans sa forme la plus sévère, l'atteinte prend le nom de manganisme. Elle se manifeste par une atteinte semblable à celle observée dans le parkinsonisme. Des effets sur la reproduction chez les hommes exposés sont également suggérés par certaines études. Les évidences sont cependant limitées et elles sont contredites par d'autres études (Prévoist, 1996).

Il existe peu d'information permettant de définir les doses d'exposition par voie d'ingestion susceptibles d'engendrer des effets toxiques. À défaut d'information, l'EPA a proposé de retenir comme dose de référence, une valeur correspondant à un apport normal de manganèse par la diète et considéré comme sans effet pour la santé. Il faut noter que les mécanismes de contrôle homéostatique permettent de maintenir le manganèse à une concentration relativement stable dans les tissus et que, par conséquent, les quantités ingérées qui sont considérées comme sécuritaires couvrent une large gamme de valeur (EPA, 1998).

Sur la base de plusieurs études, l'EPA (1998) considère qu'un apport par la diète de 10 mg/jour de manganèse peut être considéré comme sécuritaire. Cette valeur correspond pour un adulte de 70 kg à une dose journalière de 0,14 mg/kg/j. Nous avons donc retenu, pour la voie d'ingestion, cette dose de référence.

L'EPA a également retenu un LOAEL¹ par voie d'inhalation de 0,05 mg/m³, sur la base de l'étude de Roels *et al.* (1992) portant sur les effets du manganèse sur le SNC et le système respiratoire des travailleurs d'une usine de fabrication de batteries en Belgique. Au total, 92 travailleurs exposés en moyenne pendant 5,3 années au MnO₂ et 101 travailleurs non exposés ont été étudiés. Selon les auteurs de l'étude, le groupe exposé a moins bien réussi lors de différents tests d'habileté et de mémoire que le groupe témoin. Les auteurs n'ont cependant pu établir de liens très clairs entre l'exposition au manganèse et des effets sur le système respiratoire.

La dose de référence proposée par l'EPA (1998) pour la voie d'inhalation est de 5,0 E-05 mg/m³ (1,4 E-05 mg/kg/j). Elle a été établie à partir du LOAEL de 0,05 mg/m³ identifié plus haut et en considérant un facteur d'incertitude de 1000, soit 10x pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'une NOAEL², 10x pour protéger les

¹ LOAEL : "Lowest observed adverse effect level". Niveau d'exposition le plus faible ayant produit une augmentation statistiquement ou biologiquement significative de la sévérité ou de l'incidence d'effets néfastes chez les populations exposées, comparativement à un groupe témoin approprié.

² NOAEL : "no observed adverse effect level". Niveau d'exposition le plus élevé n'ayant pas produit l'apparition d'effets néfastes chez les populations exposées.

individus les plus sensibles et 10x pour tenir compte à la fois du fait que (1) le LOAEL est basé sur exposition sous-chronique, (2) que la toxicité des différentes formes de manganèse est mal connue et (3) que les données développementales sont manquantes. Cette dose de référence par voie d'inhalation a également été retenue pour les fins de l'étude.

Le manganèse est, par ailleurs, classé par l'EPA dans la catégorie D, c'est-à-dire "non classifiable" en ce qui a trait à son potentiel cancérigène chez l'humain. Cette classification est basée sur l'absence d'études chez l'humain et l'existence de données inadéquates chez l'animal. Le manganèse a donc été considéré comme non cancérigène dans le cadre de cette analyse.

3.3 ESTIMATION DE L'EXPOSITION

Les sections qui suivent décrivent la méthode utilisée pour estimer les doses d'exposition au manganèse. On retrouve, dans un premier temps, une description des modèles utilisés pour estimer les concentrations dans les différentes composantes environnementales et, par la suite, les équations utilisées pour estimer les doses d'exposition. Les résultats sont présentés à la fin de la section aux tableaux 3.1 et 3.2.

3.3.1 Concentration dans les médias environnementaux

- **Concentration dans les sols**

Pour les fins de la modélisation, la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne arithmétique des concentrations retrouvées dans les sols de surface a été utilisée. La valeur retenue est de 166 317 mg/kg (voir tableau 2.1).

- **Concentration dans l'air extérieur**

La concentration de manganèse adsorbé sur les matières particulaires dans l'air a été estimée comme suit:

$$C_{\text{air.ext}} = (25 \times C_{\text{sol}} \times 1,0 \text{ E-09}) \quad (\text{éq. 1})$$

où

$C_{\text{air.ext}}$:	concentration de manganèse dans l'air extérieur résultant de la resuspension de particules de sol (mg/m^3);
25	:	concentration de matières particulaires dans l'air provenant des sols ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; valeur par défaut proposée dans MEF (1996));
C_{sol}	:	concentration de manganèse dans les sols de surface (mg/kg);
1E-09	:	facteur de conversion d'unités (de kg à μg).

• **Concentration dans l'air intérieur**

La concentration de manganèse dans l'air intérieur a été estimée en supposant un taux de pénétration de 70 % des particules en suspension dans l'air (MEF, 1996). La concentration de manganèse dans l'air intérieur a donc été estimée selon :

$$C_{\text{air.int}} = C_{\text{air.ext}} \times 0,7 \quad (\text{éq. 2})$$

où

- $C_{\text{air.int}}$: concentration du contaminant dans l'air intérieur résultant de la resuspension de particules de sol (mg/m^3);
 $C_{\text{air.ext}}$: concentration du contaminant dans l'air extérieur résultant de la resuspension de particules de sol (mg/m^3);
 0,7 : taux de pénétration à l'intérieur des bâtiments des particules en suspension dans l'air (sans unité).

• **Concentrations dans les poussières intérieures**

La concentration de manganèse dans les poussières intérieures a été estimée en considérant que 40 % des poussières étaient constituées de particules de sol et 10 % de matières en suspension dans l'air, le reste provenant de sources domestiques non contaminées (MEF, 1996). L'équation utilisée pour estimer les concentrations sur les poussières intérieures est :

$$C_{\text{pou}} = (C_{\text{sol}} \times 0,4) + (C_{\text{mes.int}} \times 0,1) \quad (\text{éq. 3})$$

où

- C_{pou} : concentration de manganèse dans les poussières intérieures (mg/kg);
 C_{sol} : concentration de manganèse dans le sol extérieur de surface (mg/kg);
 0,4 : fraction des poussières intérieures provenant des sols extérieurs (sans unité);
 $C_{\text{mes.int}}$: concentration de manganèse dans les matières en suspension dans l'air intérieur (mg/kg);
 0,1 : fraction des poussières intérieures provenant des matières en suspension dans l'air (sans unité).

3.3.2 Estimation des doses d'exposition

L'estimation des doses d'exposition a été réalisée à l'aide des modèles présentés ci-après. Les valeurs des variables décrivant les taux d'inhalation et d'ingestion de même que le poids ont été tirées des *Lignes directrices* du MSSS (1998). Ces valeurs sont résumées ci-après.

- **Dose par inhalation d'air extérieur**

La dose par inhalation d'air intérieur a été estimée selon :

$$D_{\text{inh.ext}} = (\text{Cair.ptc.ext} \times \text{INH} \times \text{T.ext} \times \text{T.site} \times \text{FT} \times \text{FR}) / \text{poids} \quad (\text{éq. 4})$$

où

$D_{\text{inh.ext}}$:	dose par inhalation d'air extérieur (mg/kg/jour);
Cair.ptc.ext	:	concentration du contaminant dans l'air sous forme particulaire (mg/m ³);
INH	:	taux d'inhalation d'air en fonction de l'âge (15,8 m ³ /j);
T.ext	:	proportion du temps passé à l'extérieur (fraction);
T.site	:	proportion du temps passé sur le site (fraction);
FT	:	fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige;
FR	:	fraction des particules inhalées et retenues dans l'arbre pulmonaire (0,13);
poids	:	poids corporel en fonction de l'âge (70,7 kg).

Pour les fins de l'évaluation, nous avons considéré que les travailleurs de la cour passent 95 % du temps à l'extérieur. À l'inverse, nous avons supposé que les employés de bureau passent seulement 5 % de leur temps à l'extérieur.

Nous avons également considéré que l'hiver, lorsque le sol est gelé et recouvert de neige l'exposition au manganèse présent dans les sols était nulle. La valeur attribuée au terme FT est de 0,58 (7 mois par année). La valeur de Tsite a, pour sa part, été fixée à 0,22 ((8 heures/24 heures) X (5 jours/ 7 jours) X (50 semaines/52 semaines)).

Afin d'estimer la fraction des particules inhalées qui sera retenue dans l'arbre pulmonaire, nous avons émis l'hypothèse que la granulométrie des particules était similaire à celle normalement retrouvée dans l'atmosphère. Lipmann et Lioy (1985) rapportent que, selon les données de l'EPA récoltées aux endroits où des échantillonneurs de particules fines et de particules totales sont présents, la proportion de la concentration totale des particules, dont le diamètre est inférieur à 10 µm MMAD (mass median aerodynamic diameter) est de 60 %, selon les conditions moyennes de température qui prévalent aux États-Unis. En supposant que 33 % des particules ont une dimension de 0,2 µm MMAD, 33 %

des particules ont une dimension de 2 µm MMAD et 33 % des particules ont une dimension de 20 µm MMAD, et en considérant l'efficacité des mécanismes de clairance opérant dans chacun des compartiments pulmonaires (Schlesinger, 1988), on peut estimer la fraction des particules inhalées qui est retenue dans les poumons à environ 13 %. Dans une étude réalisée au début des années 1990, Mergler *et al.* (1994) avaient mesuré, lorsque l'usine d'ELKEM était en opération, que la fraction fine des poussières en suspension dans l'air représentait environ 15 % des matières particulaires totales en suspension dans l'air. La valeur de 13 % paraît donc valable. Elle pourrait toutefois conduire à une légère surestimation de l'exposition dans la mesure où la fraction fine était vraisemblablement plus élevée lorsque l'usine était en opération qu'elle ne l'est maintenant. La fraction du total des particules inhalées qui sera ingérée par la voie orale (déposition suivie d'une clairance rapide par l'escalier mucociliaire) est, pour sa part, d'environ 60 % (ICRP, 1992).

• **Dose par inhalation d'air intérieur**

La dose par inhalation d'air intérieur a été estimée selon :

$$D_{inh.int} = (C_{air.ptc.int} \times INH \times (1-T_{ext}) \times T_{site} \times FT \times FR) / \text{poids} \quad (\text{éq. 5})$$

où

$D_{inh.int}$:	dose par inhalation d'air intérieur (mg/kg/jour) ;
$C_{air.ptc.int}$:	concentration du contaminant dans l'air sous forme particulaire (mg/m ³) ;
INH	:	taux d'inhalation en fonction de l'âge (15,8 m ³ /j) ;
T_{ext}	:	proportion du temps passé à l'intérieur en fonction de la saison (fraction) ;
T_{site}	:	proportion du temps passé sur le site (fraction) ;
FT	:	fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige ;
FR	:	fraction des particules inhalées et retenues dans l'arbre pulmonaire (0,13) ;
poids	:	poids corporel en fonction de l'âge (70,7 kg).

Les valeurs de T_{ext} , T_{site} , FT et de FR retenues pour les fins d'estimation sont décrites à la section précédente.

• **Dose par ingestion de sol**

La dose par ingestion de sol a été estimée de la façon suivante:

$$\text{Ding.sol} = \text{Csol} \times \text{ING.sol} \times 0,000001 \times \text{T.site} \times \text{FT} / \text{poids} \quad (\text{éq. 6})$$

où

Ding.sol	:	dose par ingestion de sol (mg/kg/jour) ;
Csol	:	concentration du contaminant dans le sol (mg/kg) ;
ING.sol	:	taux d'ingestion de sol en fonction de l'âge (20 mg/kg) ;
0,000001	:	facteur de conversion d'unités (de kg à mg) ;
T.site	:	proportion du temps passé sur le site (fraction) ;
FT	:	fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige ;
poids	:	poids corporel en fonction de l'âge (70,7 kg).

Pour les employés de bureau, nous avons présumé que le taux d'ingestion de sol était nul mais qu'ils pouvaient indirectement ingérer des sols via les poussières intérieures qui sont constituées en partie de sol extérieur. La valeur de Tsite a, pour sa part, été fixée à 0,34 ((8 heures/16 heures) X (5 jours/ 7 jours) X (50 semaines/52 semaines)). Cette valeur diffère de celle retenue pour l'inhalation car nous n'avons considéré ici que les heures actives de la journée (16 heures par jour). La valeur attribuée au terme FT est de 0,58 (7 mois par année).

• **Dose par ingestion de poussières intérieures**

La dose par ingestion de poussières intérieures est estimée de la façon suivante :

$$\text{Ding.pous} = \text{Cpou} \times \text{ING.pous} \times 1,0 \text{ E-06} \times \text{T.site} \times \text{FT} / \text{poids} \quad (\text{éq. 7})$$

où

Ding.pous	:	dose par ingestion de poussières intérieures (mg/kg/j) ;
Cpou	:	concentration de manganèse dans les poussières intérieures (mg/kg);
ING.pous	:	taux d'ingestion de poussières intérieures en fonction de l'âge (20 mg/j) ;
1,0 E-06	:	facteur de conversion d'unités (de kg à mg) ;
T.site	:	proportion du temps passé sur le site (fraction) ;
FT	:	fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige ;
poids	:	poids corporel en fonction de l'âge (70,7 kg).

Il n'existe actuellement, à notre connaissance, aucune donnée valable permettant d'estimer la quantité de poussières intérieures pouvant être ingérées

quotidiennement par un adulte en milieu industriel. À défaut d'information sur le sujet, nous avons présumé que ce taux était de 20 mg/jour, soit la valeur proposée pour l'ingestion combinée de sol et de poussières dans les lignes directrices du MSSS (1998). Pour les travailleurs de la cour, le taux d'ingestion de poussières intérieures a été considéré comme étant nul. Les valeurs attribuées aux termes T.site et FT sont les mêmes que celles décrites pour l'ingestion de sol.

• ***Dose par ingestion de particules en suspension dans l'air extérieur***

Une partie des particules inhalées peut-être transférée à la voie d'ingestion, par clairance mucociliaire, plutôt que d'être absorbée dans les voies respiratoire. La dose par ingestion de particules inhalées à l'extérieur a été estimée comme suit:

$$\text{Ding.part.ext} = (\text{Cair.part.ext} \times \text{INH} \times \text{T.ext} \times \text{T.site} \times \text{FT} \times \text{FE}) / \text{poids} \quad (\text{éq. 8})$$

où

Ding.part.ext :	dose par ingestion de particules en suspension dans l'air extérieur (mg/kg/jour) ;
Cair.part.ext :	concentration du contaminant dans l'air sous forme adsorbée aux particules (mg/m ³) ;
INH :	taux d'inhalation d'air (15,8 m ³ /j) ;
T.site :	proportion du temps passé sur le site (fraction) ;
T.ext :	proportion du temps passé à l'extérieur (fraction) ;
FT :	fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige ;
FE :	fraction des particules inhalées expulsées des voies respiratoires par l'escalier mucociliaire pour ensuite être ingérées ;
Poids :	poids corporel en fonction de l'âge (kg).

Les valeurs T.ext, T.site et FT, sont les mêmes que celles utilisées pour résoudre l'équation 4. La valeur du terme FE a été fixée comme mentionné plus haut à 0,6.

• ***Dose par ingestion de particules en suspension dans l'air intérieur***

La dose par ingestion de particules en suspension dans l'air intérieur a été estimée comme suit:

$$\text{Ding.part.int} = (\text{Cair.part.int} \times \text{INH} \times (1 - \text{T.ext}) \times \text{T.site} \times \text{FT} \times \text{FE}) / \text{poids} \quad (\text{éq. 9})$$

où

Ding.part.int :	dose par ingestion de particules en suspension dans l'air intérieur (mg/kg/jour) ;
-----------------	--

Cair. part.int:	concentration du contaminant dans l'air sous forme adsorbée aux particules (mg/m ³);
INH	: taux d'inhalation d'air (15,8 m ³ /j);
T.ext	: proportion du temps passé à l'extérieur (fraction);
T.site	: proportion du temps passé sur le site (fraction);
FT	: fraction du temps dans l'année où le sol n'est pas gelé et recouvert de neige;
FE	: fraction des particules inhalées et expulsées des voies respiratoires par l'escalier mucociliaire pour ensuite être ingérées;
Poids	: poids corporel en fonction de l'âge (kg).

Les valeurs utilisées pour les termes T.ext, T.site, FT et FE sont les mêmes que celles décrites précédemment.

• **Dose d'exposition totale**

Les doses d'exposition calculées pour chacune des voies potentielles d'exposition sont présentées au tableau 3.2. Les doses estimées pour chacune des voies ont été additionnées de façon à les combiner en une dose totale pour pouvoir les comparer aux doses de référence retenues pour chacune des voies. Les doses d'exposition reçues par les deux voies d'exposition (inhalation et ingestion) ont été corrigées selon les facteurs d'absorption propres à chacune des voies. Une dose totale en équivalent ingestion a ainsi été calculée afin de la comparer à la dose de référence pour la voie orale. De la même façon, une dose en équivalent inhalation a été calculée afin de la comparer à la dose de référence par la voie d'inhalation.

L'équation utilisée pour calculer les doses totales en équivalent ingestion est présentée ci-dessous :

$$\text{Déq.ing} = \text{Ding} + ((\text{Dinh} \times \text{Finh}) / \text{Fing}) \quad (\text{éq. 10})$$

où

Déq.ing	:	dose totale en équivalent ingestion (mg/kg/j);
Ding	:	dose totale reçue par ingestion (mg/kg/j);
Dinh	:	dose totale reçue par inhalation (mg/kg/j);
Finh	:	fraction absorbée par inhalation (sans unité);
Fing	:	fraction absorbée par ingestion (sans unité).

L'équation utilisée pour calculer les doses totales en équivalent inhalation est la suivante :

$$\text{Déq.inh} = \text{Dinh} + ((\text{Ding} \times \text{Fing})/\text{Finh}) \quad (\text{éq. 11})$$

où

Déq.ing	:	dose totale en équivalent ingestion (mg/kg/j);
Ding	:	dose totale reçue par ingestion(mg/kg/j);
Dinh	:	dose totale reçue par inhalation(mg/kg/j);
Finh	:	fraction absorbée par inhalation (sans unité);
Fing	:	fraction absorbée par ingestion (sans unité).

On estime généralement qu'environ 1 à 5 % de manganèse ingéré est absorbé par l'organisme (EPA, 1998) et que 1 % du manganèse ingéré est retenu par l'organisme (Prévost 1996). Pour les fins de l'évaluation, une valeur de 1 % a été utilisée comme valeur pour le terme Fing. La fraction absorbée par inhalation a pour sa part été fixée à 100 %.

Tableau 3.1 Concentrations de manganèse estimées dans les sols, les poussières et l'air

Concentration dans les sols (mg/Kg)	1,66 E +05
Concentration dans les poussières (mg/Kg)	6,94 E +04
Concentration dans l'air extérieur (mg/m ³)	4,16 E -03
Concentration dans l'air intérieur (mg/m ³)	2,91 E -03

Tableau 3.2 Dose d'exposition au manganèse (mg/kg/jour)

	Travailleurs de la cour	Employés de bureau
Dose par Ingestion de sol	9,41 E-03	0,00E+00
Dose par ingestion de poussières	0,00 E+00	3,93 E-03
Dose par Ingestion de particules Inhalées à l'extérieur	6,89 E-05	1,20 E-06
Dose par Ingestion de particules Inhalées à l'intérieur	2,54 E-06	1,59 E-05
Dose total par ingestion	9,48 E-03	3,95 E-03
Dose par Inhalation d'air extérieur	1,81 E-07	3,45E-06
Dose par Inhalation d'air intérieur	4,92E-06	2,59E-07
Dose total par Inhalation	5,10E-06	3,71E-06
Dose en équivalent ingestion	9,99 E-03	4,32 E-03
Dose en équivalent inhalation	9,99 E-05	4,32 E-05

3.4 EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE AU MANGANÈSE

Un adulte peut ingérer en moyenne entre 2 et 9 mg de manganèse par jour via l'alimentation. Une ingestion de plus 10 mg par jour n'est toutefois pas exceptionnelle lorsque la diète est végétarienne (EPA, 1998; Saric, 1986; Beijer et Jernelöv, 1986). Les céréales de grains entiers, les noix, les légumes verts à feuilles et le thé sont, en effet, des aliments riches en manganèse (Drolet et Zayed, 1994). La fraction manganèse absorbable provenant d'une diète végétarienne est toutefois plus faible que celle associée à un régime non végétarien (EPA, 1998). Par conséquent, même si la quantité de manganèse ingérée est plus importante chez les végétariens, la dose absorbée n'est pas nécessairement beaucoup plus élevée que celle qui est absorbée par les individus ayant un régime non végétarien.

Les études réalisées au Canada, au Japon, en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis suggèrent que l'apport moyen provenant de la diète varierait plutôt entre 2,5 et 4 mg/j. Un apport de 9 mg/j serait typique d'un régime anglais qui comprend une consommation importante de thé. Si on considère un apport provenant de la diète de 4 mg/j de manganèse, la dose d'exposition par ingestion d'aliment d'un adulte de 70,7 kg serait de 5,66 E-02 mg/kg/j.

La dose par ingestion de sol peut, pour sa part, être considérée comme marginale par rapport à l'apport provenant de la diète. En effet, si on considère que la concentration naturelle dans les sols est de 750 mg/kg (MEF, 1998) et qu'un adulte ingère environ 20 mg de sol/jour, la dose par ingestion de sol serait seulement de 2,12 E-04 mg de manganèse/kg/j. La consommation d'eau contribue quant à elle pour environ 10 à 50 µg de manganèse par jour (OMS, 1981), soit entre 1,41 E-04 et 7,07 E-04 mg/kg/jour pour un adulte de 70,7 kg.

Les concentrations de manganèse dans l'air sont très variables et elles sont surtout liées au niveau d'urbanisation et d'industrialisation. En région rurale habitée, les concentrations peuvent varier de 10 à 40 ng/m³. En zone urbaine non industrialisée, les concentrations vont de 10 à 100 ng/m³. En région urbaine industrialisée, les concentrations oscillent généralement de 100 à 500 ng/m³, mais peuvent atteindre 10 000 ng/m³ (Prévost, 1996). Des mesures effectuées entre 1981 et 1992, à Montréal, indiquent que les concentrations annuelles moyennes de manganèse varient de 10 à 80 ng/m³ selon le site de mesure (Loranger et Zayed, 1994). Les concentrations annuelles moyennes auraient toutefois chuté d'environ 50 % après la fermeture de l'usine d'ELKEM en 1992. Selon Loranger et Zayed (1994), les concentrations moyennes dans l'air à Montréal seraient aujourd'hui inférieures à 0,04 µg/m³. Ainsi, si on suppose un taux d'inhalation de 15,8 m³/j et des concentrations dans l'air comparables à celle mesurées dans l'air à Montréal, l'exposition par inhalation serait de 8,94 E-06 mg/kg/j pour un adulte de 70,7 kg.

Sur la base de ces informations, on peut estimer la dose d'exposition bruit de fond en équivalent ingestion à $5,75 \text{ E-}02 \text{ mg}$ de manganèse/kg/j et la dose d'exposition bruit de fond en équivalent inhalation à $5,75 \text{ E-}04$.

3.5 ESTIMATION DU RISQUE

Afin d'estimer le risque pour la santé humaine associé à la présence de contaminants dans les sols et conformément aux exigences du MSSS (1998), les doses d'exposition additionnelle, bruit de fond et totale (intégrant la dose bruit de fond et la dose additionnelle) ont été comparées aux doses de référence (voies d'ingestion et d'inhalation). Pour faciliter la lecture, un ratio de la dose estimée sur la dose de référence a été calculé pour chaque comparaison. Une valeur inférieure à 1 indique que la dose d'exposition n'excède pas la dose de référence. Les résultats sont présentés au tableau 3.3.

Tableau 3.3 Caractérisation du risque

	Travailleurs de la cour	Employés de bureau
<i>Voie d'ingestion</i>		
Dose d'exposition additionnelle en équivalent ingestion (mg/kg/j)	9,99 E-03	4,32 E-03
Dose bruit de fond en équivalent ingestion (mg/kg/j)	5,75 E-02	5,75 E-02
Dose totale en équivalent ingestion (mg/kg/j)	6,75 E-02	6,18 E-02
Dose de référence-voie d'ingestion (mg/kg/j)	4,67 E-02	4,67 E-02
Ratio dose d'exposition additionnelle/ dose de référence	2,14 E-01	9,25 E-02
Ratio dose d'exposition bruit de fond/ dose de référence	1,23 E+00	1,23E+00
Ratio dose d'exposition totale/ dose de référence	1,45 E+00	1,32 E+00
<i>Voie d'inhalation</i>		
Dose d'exposition additionnelle en équivalent inhalation (mg/kg/j)	9,99 E-05	4,32 E-05
Dose bruit de fond en équivalent inhalation (mg/kg/j)	5,75 E-04	5,75 E-04
Dose totale en équivalent inhalation (mg/kg/j)	6,75 E-04	6,18 E-04
Dose de référence-voie d'inhalation (mg/kg/j)	1,40 E-05	1,40 E-05
Ratio dose d'exposition additionnelle/ dose de référence	7,14 E+00	3,08 E+00
Ratio dose d'exposition bruit de fond/ dose de référence	4,11 E+01	4,11 E+01
Ratio dose d'exposition totale/ dose de référence	4,82 E+01	4,42 E+01

3.5.1 Voie d'ingestion

Comme on peut le constater, tant pour les travailleurs de la cour que les employés de bureau, les doses d'exposition totales en équivalent ingestion excèdent légèrement la dose de référence retenue pour cette voie d'exposition (indices de 1,45 pour les travailleurs de la cour et de 1,32 pour les employés de bureau). Ces résultats s'expliquent par la faible valeur attribuée à la dose de référence.

La dose de référence proposée par l'EPA correspond à un apport normal de manganèse par la diète, qui est considéré comme sans effet pour la santé, divisé

par un facteur de sécurité de 3. Ce facteur a été proposé par l'EPA pour l'évaluation des risques associés à la présence de manganèse dans les sols et l'eau afin de tenir compte de la plus grande biodisponibilité du manganèse dans l'eau et de façon à protéger les jeunes enfants qui constituent un groupe particulièrement à risque³. Dans le cas présent, l'application de ce facteur de sécurité ne paraît pas pertinente puisque, l'exposition par l'eau potable est nulle et que, compte tenu que le terrain est utilisé à des fins industrielles, seul le groupe d'âge de 20 ans et plus est considéré. Si, pour les fins de l'exercice, on néglige le facteur de sécurité additionnel de 3 proposé par l'EPA, on obtient une dose de référence de 0,14 mg/kg/j et des indices de risque totaux (ratio dose d'exposition totale/ dose de référence) de 0,48 pour les travailleurs de la cour et de 0,44 pour les employés de bureau.

Par ailleurs, si on considère uniquement la dose d'exposition additionnelle comme le fait généralement l'EPA, on constate qu'elle est beaucoup plus faible que la dose de référence (ratio variant entre 2,14 E-01 et 9,25 E-02). Les doses additionnelles estimées (en équivalent ingestion) représentent en fait un ajout à la dose d'exposition de base (4,1 mg/j) de seulement 0,7 mg de manganèse par jour pour les travailleurs de la cour et de 0,3 mg de manganèse par jour pour les employés de bureau. Cet apport paraît faible lorsque l'on considère qu'un apport quotidien par la diète de 9 mg/j est considéré comme sécuritaire. Les doses d'exposition sont de plus vraisemblablement surestimées par un facteur qu'il est toutefois difficile à déterminer. En effet, nous avons attribué au taux d'ingestion de sol, des valeurs qui entraînent certainement une surestimation de l'exposition (l'ingestion de sol et de poussières sont les principales voies d'exposition au manganèse). La valeur proposée dans les lignes directrices du MSSS (1998) pour le taux d'ingestion de sol et de poussières (valeur combinant les deux sources) a ainsi été considérée comme représentative du taux d'ingestion de sol pour les travailleurs de la cour et du taux d'ingestion de poussières pour les employés de bureau. Le sol étant de plus très compact et relativement grossier, il est fort probable que les quantités ingérées quotidiennement par les travailleurs soient, en réalité, beaucoup plus faibles. Les doses estimées devraient donc être considérées comme des valeurs maximales. Sur la base de cette évaluation, le risque peut-être considéré, selon nous, comme négligeable.

³ La présence de fortes concentrations de manganèse dans le lait maternisé peut représenter une source importante d'exposition au manganèse chez les nouveau-nés. De plus, certaines données suggèrent que l'absorption de manganèse est relativement importante chez les nouveau-nés et l'excrétion plus faible que chez les adultes.

3.5.2 Voie d'inhalation

Les indices de risque calculés pour la voie d'inhalation sont respectivement de 48,2 pour les travailleurs de la cour et de 44,2 pour les employés de bureau. Les doses d'exposition totale excèdent donc de façon relativement importante la dose de référence de l'EPA (1998). Cette dose de référence a été établie à partir d'une étude réalisée chez les travailleurs d'une usine de fabrication de batteries en Belgique. Dans le cadre de cette étude, les concentrations de manganèse dans l'air ont été mesurées et ont servi à déterminer l'exposition du groupe exposé. Le LOAEL identifié dans cette étude et qui a servi à l'élaboration de l'estimateur de risque était donc basé sur une exposition additionnelle et non sur une dose totale qui inclue à la fois la dose bruit de fond et la dose additionnelle. Par conséquent, le risque devrait être évalué en comparant l'estimateur de risque à la dose additionnelle (en équivalent inhalation) et non à la dose totale. L'indice de risque est dans ce cas de 7,14 dans le cas des travailleurs de la cour et de 3,08 pour les employés de bureau. Si on considère uniquement la dose par inhalation (sans tenir compte de l'apport par l'ingestion de sol et de poussières), on obtient des indices de 0,36 et 0,27 pour les travailleurs de la cour et les employés de bureau, respectivement.

L'EPA a établi la dose de référence pour la voie d'inhalation en divisant le LOAEL identifié à partir des données présentées dans l'étude de Roels *et al.* (1992) par un facteur de sécurité de 1000. Si on compare la dose de référence aux doses d'exposition bruit de fond, on note qu'elle est 41 fois plus faible que la dose de base en équivalent inhalation et tout juste plus élevée que la dose de base par inhalation (8,94 E-06). En région urbaine non industrialisée, les concentrations de manganèse dans l'air excéderaient donc assez régulièrement la concentration jugée sécuritaire (50 ng/m³). La concentration de référence correspond, par ailleurs, à un apport additionnel par ingestion de seulement 0,1 mg de manganèse par jour. Cet apport semble faible si on considère qu'un apport par la diète de 9 mg/j est considéré comme sécuritaire et que la population en général est déjà exposée par la diète à environ 4 mg/j. Il nous semble donc évident, à la lumière de ces informations, que la dose de référence proposée par l'EPA pour la voie d'inhalation est surprotectrice et, à notre avis, un faible dépassement de cette dose ne peut être interprétée comme pouvant constituer un risque significatif pour la santé humaine.

En fait, si on compare la dose d'exposition additionnelle en équivalent inhalation à la dose la plus faible ayant provoqué des effets chez l'humain (LOAEL de 1,4 E-02 mg/kg/j), on constate qu'elle est 140 fois plus faible. Le risque que des effets néfastes sur la santé puissent être observés à des doses aussi peu élevées nous semble donc très faible. Il faut de plus noter que les principales voies d'exposition au manganèse sont l'ingestion de sol et de poussières et que ces voies d'exposition ont vraisemblablement été surévaluées. Par conséquent, nous estimons que le risque pour la santé humaine associé à la présence de manganèse dans les sols peut être considéré comme virtuellement nul.

3.6 FIABILITÉ DE L'ÉVALUATION

Des incertitudes sont inévitablement associées à toute démarche d'évaluation de risque. La qualité et la disponibilité des informations toxicologiques et techniques à la base de la réalisation d'une telle évaluation constituent des éléments déterminants en ce qui a trait à la fiabilité de l'étude. Toutefois, de façon générale, à toutes les étapes de l'évaluation, l'incertitude est gérée en posant des hypothèses qui tendent à surestimer plutôt qu'à sous-estimer le risque. Par exemple, à défaut de valeurs fiables pour estimer l'ingestion de poussières intérieures et de sol, nous avons attribué la valeur proposée dans les lignes directrices du MSSS (1998) pour le taux d'ingestion de sol et de poussières (valeur combinant les deux sources) au taux d'ingestion de sol pour les travailleurs de la cour et au taux d'ingestion de poussières pour les employés de bureau. Par ailleurs, le fait d'avoir utilisé pour les calculs une valeur de concentration dans les sols qui correspond à la limite supérieure de l'intervalle de confiance (à 95 %) de la moyenne arithmétique a vraisemblablement aussi entraîné une surestimation de la dose d'exposition. Toutefois, puisque cette valeur correspond au 61 ième centile de la distribution des valeurs de concentrations, la surestimation est, dans ce cas, vraisemblablement faible (en utilisant la moyenne arithmétique on obtient des doses deux fois plus faibles). D'autres valeurs conservatrices ont également été utilisées pour les fins de calcul, mais leur impact demeure cependant peu important puisque les voies d'exposition autres que l'ingestion de sol et de poussières sont marginales. Ainsi, les valeurs retenues pour estimer les concentrations dans l'air ont, en fait, peu d'influence sur les résultats finaux. Tous ces éléments nous assurent, toutefois, d'un degré de confiance relativement élevé dans les conclusions qui ont été tirées de l'évaluation.

4 ÉVALUATION DES RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES

4.1 PROBLÉMATIQUE ÉCOTOXICOLOGIQUE

4.1.1 Objectif général

L'objectif de l'évaluation est de vérifier si l'utilisation du terrain à l'étude et de ses ressources par les différents récepteurs écologiques peut entraîner, dans les limites du terrain et, par voie indirecte, dans l'écosystème environnant, une exposition au manganèse suffisante pour provoquer, chez eux, une diminution de leur taux de survie ou de leur capacité de reproduction.

4.1.2 Niveau d'évaluation du risque

Selon la *Procédure d'évaluation du risque écotoxicologique pour la réhabilitation des terrains contaminés* (CEAEQ, 1998), l'approche préconisée pour une gestion des risques servant d'alternative à l'application des critères génériques (*Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, MEF, 1998) est une évaluation du risque écotoxicologique (ÉRE) plutôt qu'une évaluation du danger écotoxicologique (ÉDÉ). Dans le cadre de cette étude, une ÉRE de type préliminaire a donc été effectuée afin de s'assurer que les concentrations de contaminants retrouvées dans les sols ne présentent pas un potentiel de risque significatif pour l'écosystème.

4.1.3 Description générale de l'écosystème

Le site se compose d'un vaste terrain industriel, constitué à partir d'un remblai de pierres et de matériaux d'emprunt granulaire grossiers. La surface du terrain est en bonne partie recouverte par les matériaux qui ont été entreposés directement sur celui-ci au fil des ans dans le cadre des activités de ELKEM Métal. Une portion significative du terrain est occupée par des zones de circulation des camions et par des bâtiments et de vastes plates-formes d'entreposage ("pads") de béton. Le site est presque complètement dépourvu de végétation à l'exception de quelques aires très restreintes où le passage de la machinerie n'est pas possible (en bordure immédiate du remblai, le long des limites du terrain par exemple) ou prohibé (dans les quelques mètres carrés entourant les hydrants à incendie, par exemple). Le site est actuellement utilisé en grande partie pour l'entreposage de ballots de cartons et de pièces de machinerie lourde.

On retrouve, au sud, une zone industrielle avec des terrains présentant à peu près les mêmes caractéristiques que celles de l'aire étudiée. Au nord, le remblai a été mis en place sur la berge rocheuse du lac Saint-Louis. Le terrain est donc délimité sur toute sa partie nord par ce plan d'eau. À partir de la limite de terrain, le lac ne présente aucun signe apparent de contamination ou d'altération par

rapport aux berges des zones adjacentes. Les eaux sont claires et les résultats des analyses effectuées n'indiquent pas de teneurs en manganèse particulièrement élevées (voir section 3.5.1). À l'ouest, se trouve un vaste terrain gazonné avec quelques arbres épars qui ne présente pas, selon toute vraisemblance, de richesse écologique particulière et qui paraît même offrir une faible diversité biologique. Ce terrain constitue un parc urbain et aucun signe d'altération n'est perceptible à partir de la limite du terrain à l'étude. Du côté est, on retrouve une vaste propriété privée boisée qui constitue sans doute un milieu intéressant pour un bon nombre d'espèces de petits mammifères et d'oiseaux. Les observations effectuées sur ce terrain et le long de la limite de propriété n'ont permis de déceler aucun signe d'altération de la qualité du milieu et de l'habitat naturel forestier.

4.1.4 Modèle conceptuel

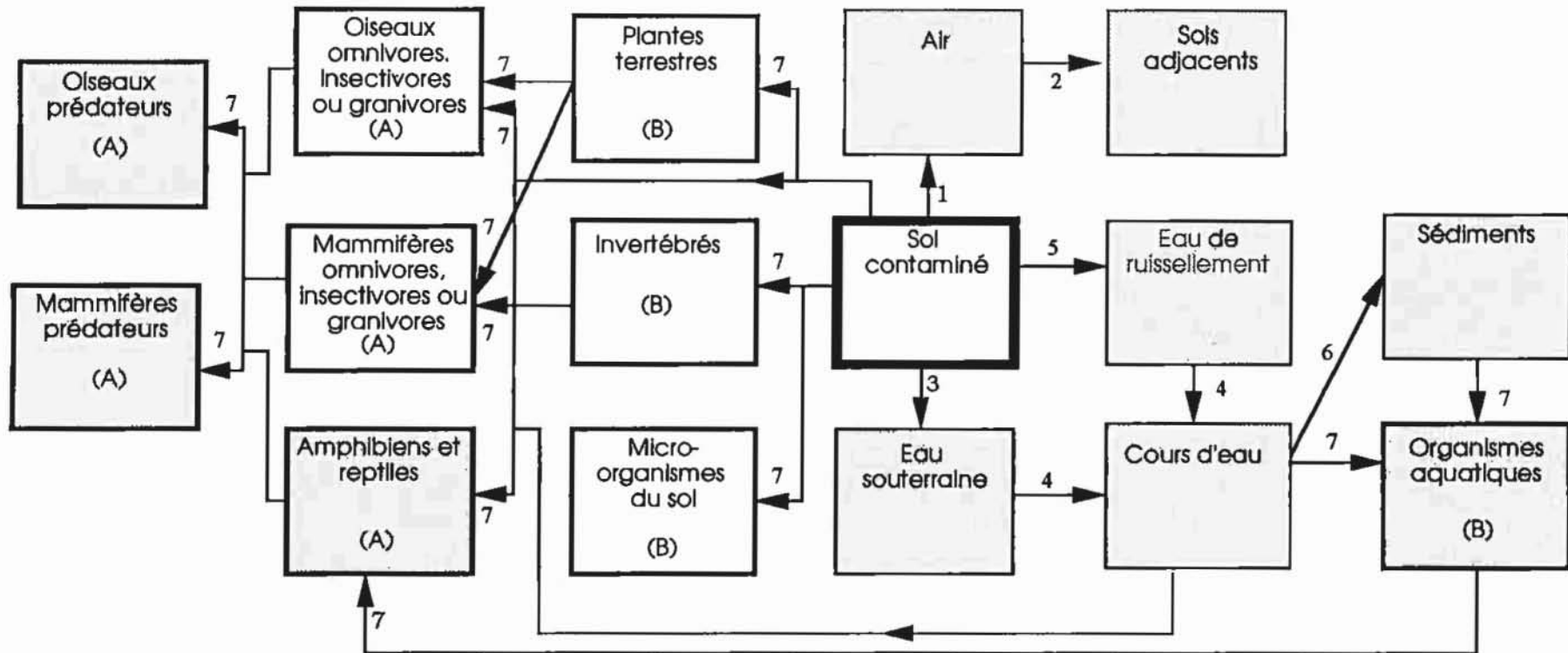
Le modèle conceptuel utilisé pour la présente étude est illustré à la figure suivante. Dans ce diagramme, les cases claires indiquent les cheminements probables des contaminants qui seront étudiés dans le cadre de l'analyse. Les cases ombragées indiquent, quant à elles, des composantes qui sont jugées négligeables en terme de risque et qui ne seront pas retenues pour les fins de l'analyse. Les raisons ayant motivé ces mises à l'écart sont présentées dans les paragraphes qui suivent.

- ***Eaux de ruissellement et eaux souterraines***

Compte tenu de la grande porosité des sols sur la majorité de la superficie du site, les eaux de pluie s'écoulent rapidement vers la nappe phréatique. Même par temps de pluie, nous avons pu constater qu'il n'y avait aucune eau de ruissellement dans le fossé situé à l'est du site. Celui-ci n'est pas non plus caractérisé par les plantes semi-aquatiques qui se retrouvent normalement en grande quantité dans de tels fossés. Le ruissellement de surface peut donc être considéré comme ne constituant pas une source significative de transport de manganèse vers le milieu aquatique.

À la suite du lessivage des sols lors des pluies, le manganèse est toutefois susceptible de se retrouver dans les eaux souterraines et de migrer vers le lac Saint-Louis. Les analyses ont cependant démontré que les concentrations mesurées dans les eaux souterraines sont relativement basses. Seulement trois échantillons excédait 1 mg/L et un seul (3,5 mg/L) excédait légèrement la concentration jugée sécuritaire pour le milieu aquatique d'eau douce (2,3 mg/L; Suter II et Tsao, 1996). Il est permis de croire que la dilution dans la nappe phréatique fait en sorte que les concentrations de manganèse dans les eaux qui atteignent le lac Saint-Louis seront très faibles.

figure 4.1. Modèle conceptuel du cheminement des contaminants



Mécanismes de transport et d'assimilation

- 1-Volatilisation, mise en suspension et transport aérodynamique
- 2-Retombées humides et sèches
- 3-Infiltration
- 4-Transport hydrodynamique
- 5-Ruissellement
- 6-Adsorption et sédimentation
- 7-Blomobilisation/Bloamplification

Voies d'exposition

- (A) Voie directe (toutes voies confondues)
- (B) Inhalation et Ingestion de sol, d'eau et de nourriture

 Composantes non retenues pour l'évaluation

Afin de vérifier si les concentrations de manganèse au point de résurgence dans le lac Saint-Louis sont effectivement faibles, des échantillons d'eau ont été récoltés depuis la berge dans le fleuve, à la marge immédiate du site, et analysés pour déterminer leur teneur en manganèse. Les résultats de ces mesures sont présentés au tableau 3.1. Comme on peut le constater, les concentrations de manganèse à proximité immédiate de la résurgence des eaux souterraines dans le lac Saint-Louis sont très faibles. Elles sont comparables aux concentrations « bruit de fond » retrouvées dans le fleuve à la hauteur du lac Saint-Louis (0,02 mg/L; Centre Saint-Laurent, 1996). L'impact potentiel du manganèse présent dans les eaux de surface et souterraine sur l'écosystème du lac Saint-Louis est donc jugé négligeable. La contamination de l'eau souterraine et de surface ne sera donc pas prise en compte dans cette étude.

Tableau 4.1. Résultats des analyses de l'eau du lac Saint-Louis prélevée le 14 juillet 1998 en face du terrain d'ELKEM

Echantillon*	Concentration mesurée (mg/L)
E1(en amont du site)	0,02
E2	<0,01
E3	<0,01
E5	<0,01
E6	0,01
E7	0,01

* La localisation des stations est fournie à l'annexe 2.

• Air

Dans certaines situations, la remise en suspension des particules contaminées peut représenter une source de migration hors-site des contaminants. Par exemple, l'entreposage en vrac de matériaux particuliers sous forme de monticules dans les zones industrielles qui sont soumises à l'érosion éolienne est susceptible de générer une dispersion du matériel vers les zones adjacentes. Même si cette voie de migration était vraisemblablement significative lors des années d'opération de l'usine, actuellement elle est très improbable, compte tenu de la nature grossière et de la densité des matériaux présents sur le site, de leur compaction ainsi que de l'occupation d'une bonne partie du site à des fins d'entreposage. Lors des visites de terrain, aucune évidence de mise en suspension de sol (poussières sur certaines surfaces, poussières sur la végétation en bordure du site) n'a d'ailleurs pu être identifiée de façon évidente, même si une des visites a eu lieu par temps très sec pendant une journée de grand vent nord-ouest alors que des camions circulaient sur le site. Cette voie ne sera donc pas considérée dans l'évaluation.

La volatilisation des contaminants peut également constituer, en théorie, une source de contamination des terrains adjacents. Le manganèse n'étant pas susceptible de se volatiliser aux températures ambiantes, cette source potentielle de dispersion des contaminants ne sera pas retenue.

• **Biote**

Tel que spécifié plus haut, le site représente un milieu qui ne peut pas soutenir une biocénose importante et diversifiée. Aucun milieu propice aux amphibiens et aux reptiles n'est présent sur le site. La superficie naturelle est de plus trop restreinte pour permettre de soutenir une population de mammifères carnivores qui de toute manière auraient un accès limité au terrain (le terrain est clôturé) et très peu sinon pas de proies à chasser. Pour ce qui est des oiseaux prédateurs, même si l'accès au terrain est plus facile pour ces espèces, le manque de zones naturelles et le peu de proies disponibles rend le site très peu intéressant. Les amphibiens, les mammifères carnivores et les oiseaux prédateurs seront donc négligés dans cette étude.

Le nombre d'espèces pouvant se retrouver sur le site est donc assez réduit et l'écosystème à cet endroit ne permet manifestement pas de soutenir des organismes appartenant à des niveaux trophiques supérieurs. Les récepteurs écologiques considérés dans cette étude seront donc les suivants :

- les microorganismes du sol
- les plantes
- les invertébrés en contact avec le sol (vers de terre)
- un oiseau omnivore (merle d'Amérique)
- un mammifère omnivore (campagnol des champs)

4.1.5 Voies d'exposition

Les voies d'exposition des récepteurs écologiques retenues pour cette ÉRE sont identifiées dans le tableau suivant.

Tableau 4.2. Voies d'exposition considérées

Récepteur	Voies d'exposition					
	Contact direct	Ingestion nourriture	Ingestion eau	Ingestion sol/particules	Inhalation	Contact dermique
Flore microbienne	X					
Invertébrés du sol	X					
Plantes	X					
Mammifère		X		X	X	•
Oiseaux		X		X	X	•

* Le contact dermique est négligeable car, d'une part, la présence de fourrure et de plumes limite considérablement le contact du sol avec la peau et, d'autre part, le manganèse est très peu absorbable par la peau (Sample *et al.*, 1997).

4.2 MÉTHODE D'ÉVALUATION

4.2.1 Microorganismes, plantes et invertébrés

Dans le cas de la microflore du sol et des plantes et des invertébrés, le risque a été estimé en comparant, conformément aux exigences du CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 1998), la concentration de manganèse dans les sols à des concentrations de référence (concentrations jugées sécuritaires). La moyenne géométrique des concentrations mesurées dans les sols a été considérée ici. Les valeurs de référence proposées par le CEAEQ dans le cas des plantes et par Efroymsen *et al.* (1997) pour les microorganismes du sol ont été utilisées. Ces valeurs sont de 500 mg/kg pour les plantes (milieu industriel) et de 100 mg/kg pour les microorganismes du sol.

Puisqu'il n'existe aucune valeur de référence pour les invertébrés, la toxicité du manganèse sur ces organismes a plutôt été évaluée par le biais d'une expérience bioanalytique simple réalisée sur des vers de terre. Le protocole de cet essai est inspiré de la procédure développée par l'EPA (Greene *et al.*, 1988). Il vise à estimer la toxicité aiguë de sols contaminés chez le ver de terre. Dix mixtures contenant entre 0% et 95% de sol (remblai de scories) provenant du site (rapport en poids sec) ont ainsi été constitués en prenant comme matrice de base un terreau d'origine commerciale. Six vers de terre provenant d'un même lot d'origine commerciale ont été placés dans chaque récipient (trois réplicats par concentration) d'une capacité d'environ 400 g pour une durée d'exposition de 14 jours, tel que le propose le protocole de l'EPA. La mesure terminale de ce bioessai est la survie.

4.2.2. Oiseaux et mammifères

Pour les oiseaux et les mammifères, une dose d'exposition a été calculée et comparée à des doses de référence. Le résultat de cette comparaison est présenté sous forme d'un indice de risque qui représente le rapport entre la dose d'exposition et la dose de référence. Un indice >1 indique un effet négatif potentiel. À l'inverse, un indice <1 indique l'absence d'un potentiel de risque. Les doses de référence proposées par le CEAEQ, 1998 ont été retenues dans le cadre de cette analyse. Ces valeurs sont de 284 mg/kg/j pour les mammifères et de 977 mg/kg/j pour les oiseaux (R. Chassé, communication personnelle).

Les doses d'exposition des oiseaux et des mammifères ont été estimées à l'aide des équations décrites ci-après. La dose d'exposition totale a été calculée en additionnant les doses provenant de l'ingestion de sol ou d'aliments et les doses provenant de l'inhalation de particules de manganèse en suspension dans l'air.

- **Dose d'exposition par inhalation**

La dose d'exposition par inhalation a été calculée selon :

$$\text{Dose}_{\text{inh}} : \text{Cair} \times \text{Tinh} \quad (\text{éq. 12})$$

où

Cair : concentration du contaminant dans l'air (mg/ m³);

Tinh : taux inhalation (m³/kg/j).

Les taux d'inhalation ont été estimés à partir des équations allométriques indiquées dans Sample *et al.* (1997) :

$$\text{Tinh} = (0,54576(\text{pds})^{0,8})/\text{pds} \quad \text{pour les mammifères} \quad (\text{éq. 13})$$

$$\text{Tinh} = (0,40896(\text{pds})^{0,77})/\text{pds} \quad \text{pour les oiseaux} \quad (\text{éq. 14})$$

où

pds : poids de l'animal (0,03 kg pour le campagnol, 0,08 kg pour le merle; EPA, 1993).

La concentration de manganèse dans l'air a été estimée à partir de l'équation 1 présentée dans la section à la section 3.3

- **Dose d'exposition par ingestion**

La dose par ingestion a été calculée selon :

$$\text{Dose}_{\text{ing}} = \sum_{i=1}^m \text{Taux}_{\text{ing},i} \times \text{C},i \times \text{Fi} \quad (\text{éq. 15})$$

où

Dose.ing : dose totale ingérée (mg/kg/j);

m : nombre de médium ingéré (invertébrés, plantes et sol);

Taux_{ing,i} : taux d'ingestion du médium i sur une base de poids sec (kg/kg/j);

C,i : concentration du contaminant dans le médium i (invertébrés, plantes et sol) sur une base de poids sec (mg/kg);

Fi : proportion ingérée du médium i provenant du site.

À partir des informations décrites ci-dessous, le terme Fi a été estimé à 7 % pour le merle et à 19 % pour le campagnol. Les valeurs attribuées aux autres termes sont, pour leur part, décrites dans les sections qui suivent.

On retrouve sur le site des zones bâties (bâtiments ou dalle de béton) et des zones non bâties. Les zones bâties représentent environ 15% de la superficie totale du site. Si on ajoute les aires utilisées pour l'entreposage de ballots de carton, la surface occupée du terrain occupe environ 30 % de la superficie totale. Ces dernières sont complètement dénudées de végétation sauf dans les zones périphériques où l'on retrouve une végétation herbacée peu importante sur une bande de deux à cinq mètres de largeur environ (on retrouve également quelques îlots de gazon de faible superficie près des bâtiments, au centre du terrain). Les zones dénudées couvrent donc la majeure partie de la superficie du terrain. Dans ces secteurs, les sols sont très compacts et présentent une granulométrie très grossière (voir photographies à l'annexe 1). Ils sont donc peu propices à l'établissement d'une flore ou d'une faune détritvire importante. Ces zones peuvent, par conséquent, être considérées comme ne constituant pas un habitat valable pour les oiseaux ou les mammifères.

En fait, seules les zones périphériques qui ont été peu utilisées au cours des dernières années et où une végétation herbacée épars s'est installée peuvent constituer un habitat potentiel pour la faune avienne ou les mammifères. Il faut toutefois souligner que les densités d'organismes à ces endroits demeurent extrêmement faibles et que la végétation est relativement épars. Il est donc peu probable que ces zones soient fortement utilisées. À titre d'exemple, lors d'une des visites de terrain, on a noté une densité maximale de vers de terre de quelques organismes/m², alors que cette densité est probablement 10 ou 100 fois plus élevée dans des sols à granulométrie plus fine, dont la texture est moins compactée, et où le contenu de matière organique est plus élevé.

Si on présume, sur la base des données présentées dans Weatherhead et McRae (1990, cité dans EPA, 1993) que l'aire d'alimentation du merle est de 0,5 hectare, que la surface utilisée est essentiellement de forme carrée (environ 70 m X 70 m) et que seule la bande herbacée de 5 mètres de largeur en périphérie du site peut être considérée comme une aire d'alimentation, on peut estimer que, pour un individu donné, la proportion de l'aire d'alimentation qui se retrouve sur le site est de seulement 7 % (une bande de 70 mètres de long sur 5 mètres de largeur, soit 350 m² sur une aire de 5000 m²).

De la même façon, si on considère que l'aire d'alimentation du campagnol est de 0,07 hectare (EPA, 1993), on peut estimer que la proportion du domaine vital susceptible de se retrouver sur le site est de 19 %. Cette valeur est sans doute conservatrice si on considère que Beaudin et Quintin (1983) rapportent plutôt des valeurs pour le domaine vital de l'espèce qui oscillent entre 0,1 et 0,5 hectares.

Si on suppose, par ailleurs, que les quantités de sol ou d'aliments ingérés par unité de surface sont aussi importantes le long des bandes de végétation en

périphérie du site que sur les terrains adjacents (ce qui est peu probable car, comme mentionné précédemment, la nature du remblai sur le site ne permet pas l'établissement d'une faune et d'une flore importante), on peut considérer que la proportion des aliments ou de sol ingérés provenant du site est de 7 % dans le cas du merle et de 19 % dans le cas du campagnol.

• Taux d'ingestion d'aliments

Les taux d'ingestion d'aliments peuvent être estimés à l'aide des modèles tirés de Sample *et al.* (1997) et qui sont décrits ci-dessous :

$$\text{Tauxing} = (0,0306 (\text{Pds})^{0,564})/\text{pds} \quad (\text{pour les rongeurs}) \quad (\text{éq. 16})$$

$$\text{Tauxing} = (0,0141 (\text{Pds})^{0,850})/\text{pds} \quad (\text{pour les passereaux}) \quad (\text{éq. 17})$$

Si on présume un poids moyen de 0,03 kg pour le campagnol et de 0,08 kg pour le merle (EPA, 1993), on obtient, d'après ces modèles, des taux d'ingestion d'aliments (sur une base de poids sec) de 0,21 kg/kg/j et de 0,02 kg/kg/j, respectivement.

EPA (1993) rapportent des valeurs de taux d'ingestion d'aliments (en poids humide) pour le campagnol des champs de 0,30 kg/kg/j. Si on suppose que le pourcentage de contenu en eau de la diète d'un campagnol est de 70 % (graines : 10 % d'eau pour 10% du régime alimentaire; feuilles : 85% d'eau pour 73% du régime; racines : 80 % d'eau pour 9% du régime ⁴ selon EPA, 1993), le taux d'ingestion d'aliments sur une base de poids sec serait d'environ 0,21 kg/kg/j, soit une valeur similaire à celle estimée à l'aide de l'équation 36. Pour les fins de l'étude, une valeur de 0,21 kg/kg/j a donc été retenue. Si on compare ce taux d'ingestion à celui de la souris à pattes blanches (entre 0,09 et 0,13 kg/kg/j), une espèce voisine possédant une diète et un poids similaires, on remarque qu'il est beaucoup plus élevé. Les doses d'exposition qui ont été estimées à partir des taux d'ingestion correspondent donc vraisemblablement à un centile élevé des distributions de valeurs possibles.

Skorupa et Hotherm (1985, cité dans EPA, 1993) ont estimé pour le merle, à partir d'une analyse des contenus stomacaux, les taux moyens d'ingestion d'aliments à 0,9 kg/kg/j sur une base de poids humide. En se basant sur la composition des contenus stomacaux et en présumant que les contenus en eau des différents aliments sont respectivement de 77 % dans les fruits, 85 % dans les feuilles et 75 % dans les racines (EPA, 1993), on peut estimer que le taux d'ingestion sur une base de poids sec est de 0,2 kg/kg/j. La valeur estimée à partir du modèle présenté plus haut (équation 17) paraît donc relativement faible et, par conséquent, celle estimée à partir de l'étude de Skorupa et Hotherm (1985, cité dans EPA, 1993) sera retenue dans le cadre de cette étude.

⁴ Le reste du régime se compose de champignons et d'insectes.

À partir de ces informations, les taux d'ingestion de chaque catégorie d'aliments peuvent ensuite être calculés en multipliant les taux d'ingestion d'aliments estimés plus haut par le pourcentage de l'aliment *i* dans la diète. Le campagnol se nourrit d'herbes, de laïches, de graines, de racines, d'écorces et de bulbes. Il se repaît aussi d'insectes et de limaces (Beaudin et Quintin, 1983). Pour les fins de l'étude, nous avons présumé que son régime alimentaire était constitué à 98 % de plantes (racines, herbes et graines) et 2 % d'invertébrés en se basant sur le contenu stomacal moyen de quatre saisons provenant d'animaux capturés dans l'Illinois dans deux milieux différents (EPA, 1993).

Le régime alimentaire du merle est, quant à lui, composé à 45 % d'invertébrés et à 55 % de plantes (fruits). Ces valeurs ont été estimées en prenant la moyenne des contenus stomacaux (printemps, été et automne) de merles provenant de l'est des États-Unis (EPA, 1993). Ces valeurs seront retenues pour le calcul des taux d'ingestion des différents types d'aliments. Les taux d'ingestion calculés sont résumés au tableau 4.3.

Il faut toutefois souligner qu'une certaine proportion des proies capturées par le merle est constituée d'insectes vivants sur les tiges et la frondaison de végétaux. Ces insectes n'entrent pas ou très peu en contact avec le sol. Les invertébrés vivant directement dans le sol ou se nourrissant d'herbe (lombrics, millipèdes, fourmis, sauterelles) sont estimés à environ 30% de la quantité totale d'invertébrés ingérés par un merle (EPA, 1993). En considérant que la diète est constituée de 45 % d'invertébrés susceptibles d'avoir assimilé du manganèse, on surestime vraisemblablement la dose d'exposition de façon relativement importante.

Tableau 4.3 Taux d'ingestion d'aliments (kg/kg/j) sur une base de poids sec

	Campagnol	Merle
Taux d'ingestion de plantes	0,206	0,11
Taux d'ingestion d'invertébrés	0,004	0,09
Total	0,21	0,2

• **Taux d'ingestion de sol**

Selon les données présentées dans EPA (1993), 2 % des quantités de matières ingérées par le campagnol (sur une base sèche) est constitué de sol. Le taux d'ingestion de sol peut donc être estimé en multipliant le taux d'ingestion d'aliment (0,21 kg/kg/j) par 0,02. Le taux d'ingestion de sol serait donc pour le campagnol de 0,004 kg/kg/j.

À défaut d'information spécifique pour le merle, les données sur les contenus stomacaux de la bécasse d'Amérique ont été utilisées pour déterminer le taux

d'ingestion de sol ; la bécasse se nourrit en grande partie de vers de terre et est donc susceptible d'ingérer des quantités appréciables de sol. Selon les données de Bayer *et al.* (1993 ; cité dans EPA, 1993), 10 % des matières ingérées (poids sec) par la bécasse d'Amérique seraient constituées de sol. Cette quantité inclurait à la fois l'ingestion accidentelle de sol et l'ingestion intentionnelle de gravier afin de favoriser le broyage des aliments dans le gésier. Sur cette base, on peut estimer le taux d'ingestion de sol du merle en multipliant le taux d'ingestion d'aliment (0,2 kg/kg/j) par 10 %. La valeur correspondante est de 0,02 kg/kg/j.

Le taux d'ingestion de sol retenu ici constitue assurément une valeur relativement conservatrice. En effet, la bécasse d'Amérique est une espèce qui se nourrit à plus de 75 % de ver de terre. On peut estimer, que le merle qui se nourrit à 15 % d'organismes en contact direct avec le sol devrait en réalité avoir un taux d'ingestion de sol plus faible (possiblement cinq fois plus faible que celui de la bécasse).

• **Concentration dans les plantes et les vers de terre**

Bien que certains facteurs de bioconcentration et coefficients de régression soient disponibles dans la littérature pour estimer les concentrations dans les plantes et les vers de terre, des mesures ont été prises directement sur le site afin d'estimer avec plus de justesse l'impact de la contamination sur la faune. En effet, puisque les matériaux présents sur le site sont constitués en grande partie de scories, la fraction de manganèse biodisponible devrait être plus faible que celle des sols à partir desquels les valeurs de facteur de bioconcentration ont été dérivées. Des tests que nous avons effectués sur les matériaux provenant du terrain de Beauharnois à l'aide d'une méthode utilisée en agriculture pour déterminer les éléments disponibles et pour estimer les apports qui doivent être prévus en termes d'amendement (Conseil des productions végétales du Québec, 1993) indiquent qu'environ 1,5 % du manganèse présent dans les matériaux est théoriquement disponible pour les plantes (voir résultats présentés à l'annexe 2). À titre de comparaison, 15 % du manganèse dans les matériaux du site adjacents était disponibles pour les plantes (voir les résultats présentés en annexe pour les échantillon 6, 21 et 22) .

Au total, cinq échantillons composites de plantes (fructifications de l'orge agréable, *Hordeum jubatum*) et trois échantillons composites de vers de terre ont été récoltés sur le site et analysés afin de déterminer leur teneur en manganèse et de dériver des facteurs de bioconcentrations spécifiques au site. Pour fins de comparaison, un échantillon de vers de terre et un échantillon de plantes (orge agréable) ont également été récoltés sur le terrain situé à l'est du site. Avant l'analyse, les vers ont été soumis à un jeûne de 10 jours afin d'extraire dans la mesure du possible les particules de sol pouvant se trouver dans leur tractus intestinal. Il faut noter que ce jeûne ne permet jamais de d'extirper complètement toutes les traces de sol et que, conséquemment, les calculs de

bioconcentration constituent généralement des approximations relativement conservatrices.

Les résultats apparaissent au tableau 4.4. À partir de ces informations, des facteurs de bioconcentration sol-plantes et sol-vers de terre ont été calculés. Comme on peut le constater, les facteurs de bioconcentration sol-plantes sont de 10 à 40 fois plus faibles que celui obtenu pour l'échantillon recueilli sur le site adjacent. Dans le cas des vers de terre, les valeurs sont comparables entre les deux sites. Pour les fins de calcul des doses d'exposition, les valeurs maximales des facteurs de bioconcentration ont été retenues (en excluant les données provenant du site adjacent). Ces valeurs sont respectivement de 0,004 (sol-plantes) et de 0,006 (sol-vers de terre). Elles sont environ deux fois plus élevées que les valeurs médianes ou moyennes.

Les concentrations moyennes dans les vers de terre et les plantes ont été estimées en multipliant la concentration moyenne (arithmétique) de manganèse mesurée dans les sols par les facteurs de bioconcentration estimés pour le site. La moyenne arithmétique a été préférée à la moyenne géométrique parce qu'elle est plus représentative lorsqu'il s'agit d'estimer une dose d'exposition (MEF, 1991). La moyenne arithmétique des concentrations mesurées dans les sols a également été utilisée pour estimer la dose par ingestion de sol.

Tableau 4.4 Concentrations de manganèse dans les vers de terre et dans les plantes par rapport aux concentrations dans les sols

Station	Sols	Plantes (<i>Hordeum jubatum</i>)		Lombric	
	Concentration (mg/kg)	Concentration (mg/kg)	Facteur bioconc.	Concentration (mg/kg)	Facteur bioconc.
1	83 000	370	0,004	120	0,001
2	34 000			72	0,002
16	6 000			39	0,006
17	260 000	120	0,0005		
18	310 000	470	0,002		
19	80 000	110	0,001		
20	170 000	390	0,002		
21*	3 000	65	0,02		
22*	4 600			13	0,003

* Les stations 21 et 22 étaient situées sur le terrain adjacent du côté est.

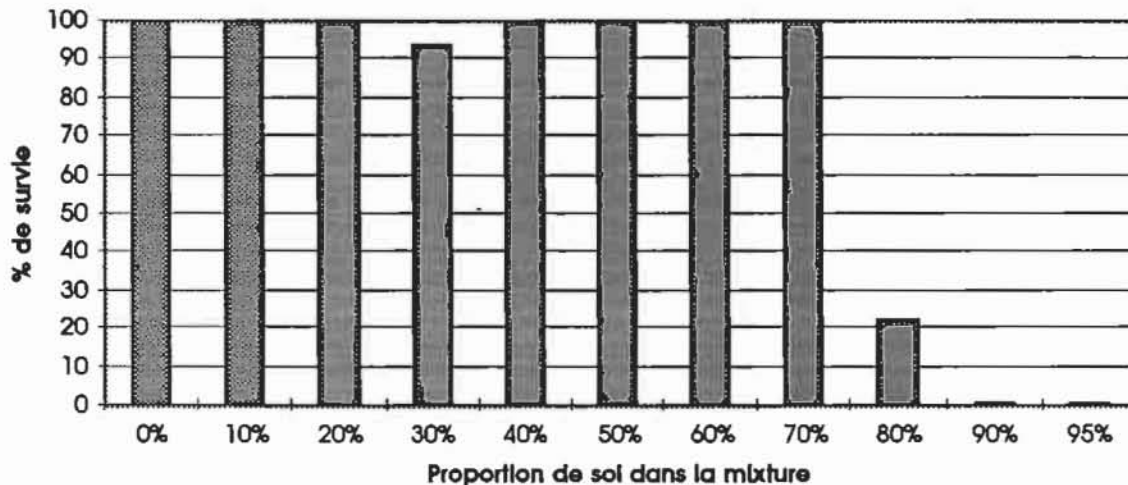
4.3 CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DU RISQUE

4.3.1 Microorganismes, plantes et invertébrés

La concentration moyenne (géométrique) de manganèse mesurée dans les sols est de 87 732 mg/kg et excède donc de 877 fois la concentration de référence jugée sécuritaire pour les microorganismes du sol et de 175 fois celle pour les plantes. Il est cependant important de noter que les valeurs de référence ont été dérivées à partir de tests effectués avec du sulfate de manganèse, un composé relativement soluble. Dans cette perspective, il est peu surprenant que les concentrations de référence dérivées à partir des tests effectués avec du sulfate de manganèse soient inférieures aux concentrations de manganèse (formes extractibles) considérées comme naturelles dans les sols (770 mg/kg dans les Basses-Terres du Saint-Laurent selon MEF, 1998). Or, le manganèse mesuré dans le remblai est présent en très grande partie sous forme d'oxyde de manganèse, une forme très peu soluble et biodisponible pour les plantes et les microorganismes du sol. Les tests que nous avons effectué sur les matériaux du terrain de Beauharnois indiquent en effet que seulement 1,5 % du manganèse présent dans les matériaux est disponible pour les plantes (voir plus haut la section sur les concentrations dans les vers et les plantes).

Dans le cas présent, le dépassement des concentrations de référence ne peut en aucun cas être interprété comme signifiant la présence d'un risque potentiel et ce, même si les concentrations mesurées dans les plantes récoltées sur le site excèdent d'environ quatre fois celle mesurée dans les plantes récoltées sur le site adjacent. En effet, les données permettant d'évaluer la phytotoxicité des différentes formes de manganèse sont trop fragmentaires pour nous permettre d'estimer le risque réel avec un bon degré de confiance. En contrepartie, les données ne nous permettent pas non plus de conclure à la non toxicité du sol pour les plantes. Il faut toutefois souligner que, dans le cas présent, il sera toujours très difficile de départager les effets toxiques potentiels du manganèse de ceux qui sont plus simplement reliés à la nature physique du remblai, qui n'apparaît pas apte à soutenir une flore diversifiée et abondante.

La toxicité des sols sur les invertébrés a été évaluée par le biais d'une expérience bioanalytique réalisée sur des vers de terre (voir section 4.1 pour plus de détails). Les résultats du test sont indiqués à la figure 4.2. Les valeurs présentées dans le graphique sont les pourcentages moyens de survie pour différentes concentrations de sol dans la mixture sol/terreau.

Figure 4.2 Résultats du test de toxicité des sols sur les vers de terre

Comme on peut le constater, les taux de survie des vers de terre ont chuté drastiquement lorsque les concentrations de sol dans la mixture sol/terreau étaient de 80 % et plus. Ces résultats peuvent indiquer une certaine toxicité des sols mais peuvent également s'expliquer par la nature peu hospitalière du remblai. Celui-ci est en effet très dense et présente une texture qui offre peu de potentiel pour le ver de terre. En fait, le sol analysé présente une texture très similaire à celle de la poussière de pierre. Ainsi, afin de départager l'effet du manganèse de l'effet de la texture du sol sur les résultats du test, un second essai a été réalisé avec de la poussière de pierre commerciale en suivant le même protocole que celui mentionné précédemment. Les essais ont été effectués cette fois avec trois mixtures contenant 0 %, 90 % et 95 % de poussières de pierre. Après 14 jours, la survie a été nulle dans les mixtures contenant 90 % et 95 % de poussières de pierre, alors qu'elle était de 100 % dans les groupes contrôles. Ces résultats indiquent que les caractéristiques physiques du sol peuvent expliquer à elles seules les forts taux de mortalité observés lors des essais sur les sols du site. Ils ne permettent cependant pas de conclure hors de tout doute à l'innocuité des matériaux sur le plan toxicologique.

En somme, il est difficile sur la base des informations disponibles de conclure à l'absence de risque pour la flore microbienne, les invertébrés du sol ou pour les plantes. Nous croyons toutefois d'une part que, indépendamment de sa toxicité, le site à l'étude ne présente pas réellement de potentiel pour la faune invertébrée du sol ou pour les plantes étant donné la nature grossière et compacte du remblai qui constitue le site. D'autre part, nous croyons que même si les sols présentaient une toxicité importante pour ces récepteurs, les conséquences écologiques demeureraient marginales puisque le site est voué à

une utilisation industrielle et n'a donc pas pour fonction de soutenir une biomasse comme dans le cas d'un boisé, d'un parc urbain ou d'un terrain paysager.

4.3.2 Oiseaux et mammifères

Les doses d'exposition au manganèse et les indices de risques calculés pour les oiseaux et les mammifères sont donnés au tableau 4.5. Comme on peut le constater, les indices de risque sont inférieurs à l'unité tant pour les oiseaux que pour les mammifères. On aurait également obtenu des indices inférieurs à l'unité, si les doses d'exposition avaient été calculés en considérant la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne arithmétique des concentrations dans les sols (166 317 mg/kg). Sur la base de cette évaluation, les risques pour les oiseaux et les mammifères peuvent être considérés comme virtuellement nuls.

Tableau 4.5. Dose d'exposition au manganèse et indice de risque calculés pour les oiseaux et les mammifères

	Oiseaux	Mammifères
Dose par ingestion de sol (mg/kg/j)	1,91 E+02	1,09 E+02
Dose par ingestion de plantes (mg/kg/j)	4,21 E+00	2,14 E-01
Dose par ingestion d'invertébrés (mg/kg/j)	5,17 E+00	6,55 E-01
Dose par inhalation	1,70 E-06	6,96 E-06
Dose totale (mg/kg/j)	2,01 E+02	1,31 E+02
Dose de référence (mg/kg/j)	9,77 E+02	2,84 E+02
Indice de risque	2,05 E-01	4,62 E-01

5 CONCLUSION

Suite à la fermeture définitive de son complexe industriel de Beauharnois en mai 1991, ELKEM MÉTAL CANADA INC. a entamé des procédures de réhabilitation de ce site. Dans le cadre de la poursuite de son programme de réhabilitation et à la demande du ministère de l'Environnement et de la Faune, la compagnie désire savoir si les sols qui présentent des teneurs élevées en manganèse représentent un problème environnemental significatif. C'est dans ce contexte que la présente étude a été effectuée.

Selon les résultats de l'évaluation des risques toxicologiques à la santé humaine, l'impact potentiel sur la santé humaine peut être considéré comme virtuellement nul. En effet, les doses calculées d'exposition potentielle au manganèse sont d'une part au moins 140 fois plus basses que les doses les plus faibles auxquelles des effets ont pu être observés. D'autre part, ces doses représentent un ajout marginal à l'apport moyen provenant de la diète normale.

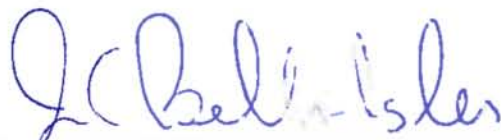
L'étude a également permis de conclure que les risques pour les oiseaux et les mammifères étaient nuls. Pour ce qui concerne la flore microbienne, les invertébrés du sol ou les plantes, il est cependant difficile de conclure à l'absence de risque sur la base des informations disponibles. Toutefois, même si les sols présentaient une certaine toxicité pour ces récepteurs, les conséquences écologiques demeuraient marginales puisque le site est voué à une utilisation industrielle et n'a donc pas pour fonction de soutenir une biomasse comme dans le cas d'un boisé, d'un parc urbain ou d'un terrain paysager. Dans son état actuel le remblai qui recouvre le site présente des caractéristiques physiques qui ne le rendent pas propice à l'établissement d'une faune détritivore active et abondante et d'une flore importante et diversifiée.

6 RESTRICTIONS

Dans le cadre de la préparation de la présente étude, RISCAN a rendu les services pour lesquels la firme a été mandatée en fournissant son meilleur jugement professionnel. Elle a réalisé les évaluations de risque toxicologiques et écotoxicologiques suivant les règles de l'art ainsi que selon les directives établies par le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. Les connaissances et les procédures en matière d'évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques ainsi que les informations utilisées sont celles qui étaient disponibles au moment où l'étude a été complétée. Riscan s'est appuyée en toute bonne foi sur les informations fournies par des tiers et aucune assurance ne peut être donnée en rapport avec ces informations.

Nous spécifions que les conclusions de l'évaluation des risques sont valables uniquement dans le contexte d'une utilisation industrielle du site. D'autre part, ces conclusions visent essentiellement la problématique associée à la présence de manganèse sur le site.

Préparé par :



Jean-Claude Belles-Isles, Ph.D.

Révisé par :



Jacques Bérubé, biol.

7 RÉFÉRENCES

Beaudin, L. & M. Quintin. 1993. *Guide des Mammifères terrestres du Québec, de l'Ontario et des Maritimes*, (Éditions du Nomade).

Beijer, K. et A. Jernelöv 1986. « General Aspects of and Specific Data on Ecological Effects of Metals ». Dans: L. Friberg, G.F. Nordberg et V. Vouk (eds). *Handbook on the Toxicology of Metals*. (Elsevier Science Publishers, Amsterdam).

Bio Géo. 1997. *Suivi environnemental de la qualité de l'eau souterraine. Site de la compagnie Elkem Métal à Beauharnois, usine de ferro-manganèse*. (rapport réalisé pour Elkem Métal Canada inc).

Bio Géo. 1996. *Résumé des travaux de caractérisation environnementale et de réhabilitation. Elkem Métal Canada inc., Chemin du Canal, Beauharnois*. (rapport réalisé pour Elkem Métal Canada inc.).

Bio Géo. 1995. *Caractérisation complémentaire des sols et de l'eau souterraine. Site de la compagnie Elkem Métal Inc. à Beauharnois, usine de silicium et de ferromanganèse*, (rapport réalisé pour Elkem Métal Canada inc).

Bio Géo. 1994. *Caractérisation environnementale des sols de surface. Propriété de M. Bellemare*. (rapport réalisé pour Elkem Métal Canada inc.).

Calabrese, E.J. et E.M. Kenyon. 1991. *Air toxics and Risk Assessment* (Lewis Publishers, Chelsea, Michigan).

CEAEQ (centre d'expertise en analyse environnementale du Québec). 1998. *Procédure d'évaluation du risque écotoxicologique pour la réhabilitation des terrains contaminés*, (ministère de l'Environnement et de la Faune, Gouvernement du Québec).

Centre Saint-Laurent. 1996. *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent*. (Environnement-Canada-région du Québec, Conservation de l'environnement et Éditions MultiMondes, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent »).

Conseil des productions végétales du Québec. 1993. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux*, (Gouvernement du Québec, Publication 93-0158).

Drolet, C. et J. Zayed. 1994. « Manganese intakes of adult man consuming self selected diets », *J. Can. diet. Ass.*, 55 : 185-187.

Efroymson, R.A., M.E. Will et G.W. Suter II. 1997. *Toxicological Benchmarks for Contaminants of Potential Concern for effects on Soil and Litter Invertebrates and Heterotrophic Process : 1997 revision*, (document préparé pour le U.S. Department of Energy).

EPA. 1998. *Integrated Risk Information System* (Web prototype. [Http/www.epa.gov/ngispgm3 / iris](http://www.epa.gov/ngispgm3/iris)).

EPA. 1993. *Wildlife Exposure Factors Handbook*, (EPA/600/R-93/187a. Office of Research and Development, Washington D.C).

Greene, J.C., C.L. Bartels, W.J. Warren-Hicks, B.R. Parkhurst, G.L. Linder, S.A. Peterson, W.E. Miller. 1988. *Protocols for Short-Term Toxicity Screening of Hazardous Waste Sites*, (USEPA Corvallis Environmental Research Laboratory, EPA/600/3-88/029).

ICRP (International Commission on Radiation Protection). 1992. *Report of the Task Group on Reference Man*, (Publication, no 23, Oxford: Pergamon Press).

International Labour Office. 1983. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, (International Labour Office. Genève, Suisse).

Lippmann, M., Lioy, P.J. 1985. « Critical issues in air pollution epidemiology ». *Environ. Health. Perspect.*, 62:243-258.

Lippmann, M., Yeates, D.B., Albert, R.E. 1980. «Deposition, retention and clearance of inhaled particles», *Brit. J. Ind. Med.* 37: 337-362.

Loranger, S. et J. Zayed. 1994. « Manganese and lead concentrations in ambient air and emission rates from unleaded and leaded gasoline between 1981 and 1992 in Canada : a comparative study », *Atmospheric Environment*, 28: 1645-1671.

MEF (ministère de l'Environnement et de la Faune). 1998. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, (Les Publications du Québec. Sainte-Foy, Québec).

MEF (Ministère de l'Environnement et de la Faune). 1996. *Guide technique pour la réalisation des analyses préliminaires de risques toxicologiques*, (document préparé par le Groupe d'analyse de risque. Direction des laboratoires. Juin 1996)

MEF (Ministère de l'Environnement et de la Faune). 1991. *Pièces à l'appui des lignes directrices d'analyse de risque toxicologique*, (document sous forme préliminaire préparé par le Service d'analyse de risque. Juin 1991).

Mergler, D., G. Huel, R. Bowler, A. Iregren, S. Bélanger, M. Baldwin, R. Tardif, A. Smargiassi ET L. Martin. 1994. « Nervous system dysfunction among workers with long-term exposure to manganese ». *Environ. Res.*, 64 : 151-180.

MSSS (ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec). 1998. *Évaluation et gestion du risque toxicologique au Québec. Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique à la santé humaine*, (document de pré-consultation-14 juillet 1998).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 1981. *Le manganèse. Critères d'hygiène de l'Environnement* (Genève, Suisse).

Prévost C. 1996. *Le manganèse et la santé. Dans le cadre de l'analyse du dossier Elkem Métal inc* (Direction de la Santé publique-Montérégie).

Roels, H.A., P. Ghyselen, J.P. Buchet, E. Ceulemans et R.R. Lauwerys. 1992. « Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust », *Br. J. Ind. Med.*, 49 : 25-34.

Sample, B. E., M. S. Aplin, R. A. Efroymsen, G. W. Suter II & C. J. E. Welsh. 1997. *Methods and Tools for Estimation of the Exposure of Terrestrial Wildlife to Contaminants*. (Oak Ridge National Laboratory. Rapport ORNL/TM-13391).

Schlesinger, R.B. 1988. « Deposition and Clearance of Inhaled Particles », dans *Concepts in Inhalation Toxicology*, ed. par R.O. McClellan et R.F. Henderson, (New York, Hemisphere Publishing Corporation).

Saric, M. 1986. « Manganese ». Dans : L. Friberg, G.F. Nordberg, V.B. Vook et E. Kessler (eds). 1986. *Handbook On the Toxicology of Metals*, (Elsevier Science Publishers, Amsterdam).

Suter II, G. W. et C. L. Taso. 1996. *Toxicological Benchmarks for Screening Potential Contaminants of Concern for Effects on Aquatic Biota: 1996 Revision*. (Oak Ridge National Laboratory).

Annexe 1
Photographies du site



1- Vue générale du site montrant le centre du terrain



2- Vue générale du site montrant la partie est du terrain et la zone forestière adjacente



3- Vue générale du site montrant la partie ouest du terrain et le parc urbain adjacent

La
clôture
marque la
limite du
terrain



4- Zone herbacée en périphérie du site (secteur est)



5- Zone en périphérie du site (partie nord-est) où l'on retrouve de la végétation



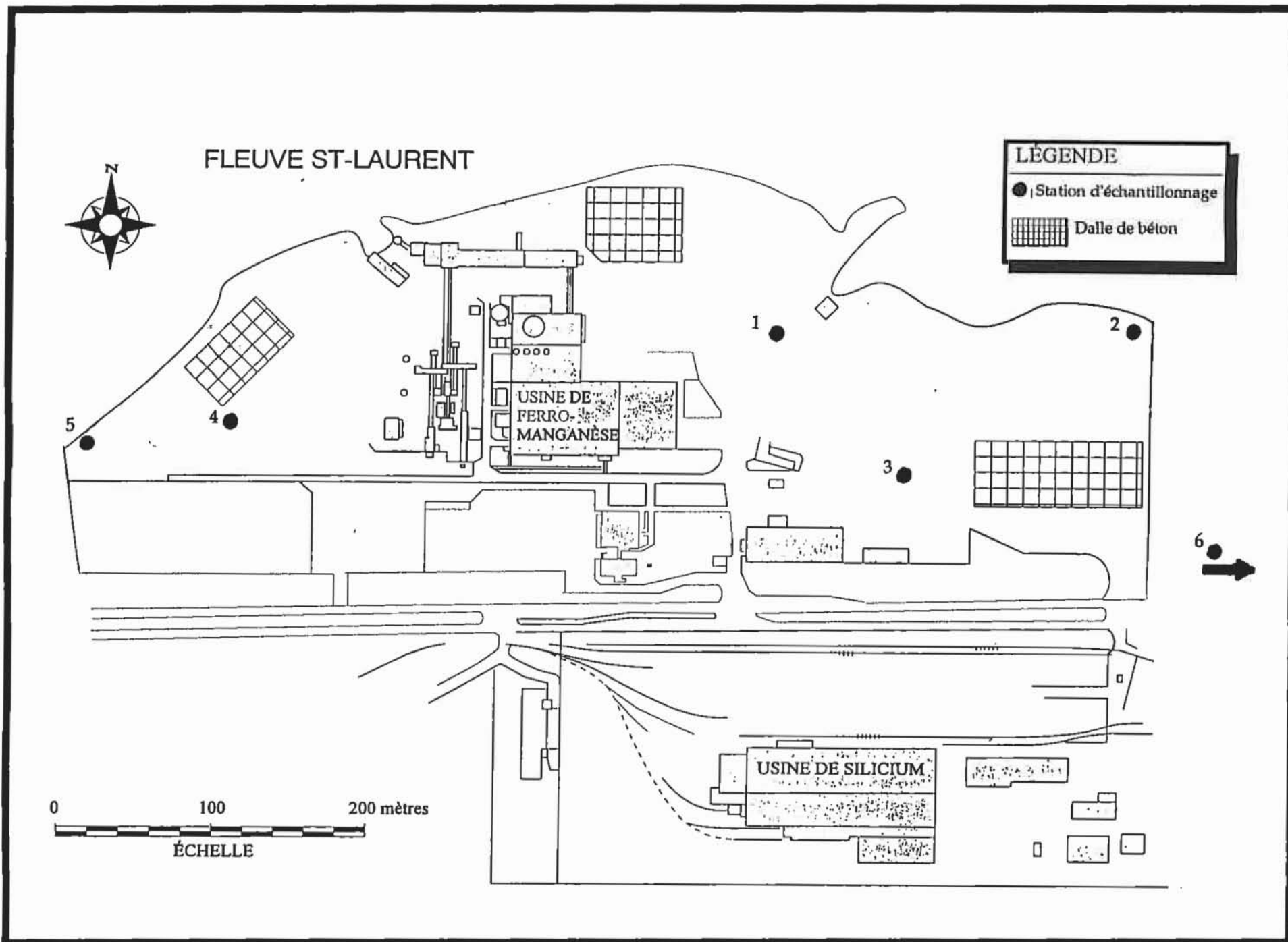
6- Vue générale du site montrant la partie nord du terrain



7 et 8- Vue partielle du site montrant la texture du remblai



Annexe 2
**Analyse des teneurs en manganèse dans les sols, l'eau,
les plantes et les vers de terre (1998)**



Localisation des stations d'échantillonnage (22/04/98)

CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 1 / 2
Version 01

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/05/01
Demande d'analyse : 028124
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : BERUBE, JACQUES INC. (CONSULTANTS)
Responsable : M.JACQUES BERUBE
Prélevé par : M.JACQUES BERUBE
Votre référence :
BEAUHARNOIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/04/24

PARAMETRE	Unité	No Labo: V/Réf:	105274	105275	105276	105277
			#1	#2	#3	#4
		D.Pr.:	98/04/22	98/04/22	98/04/22	98/04/22
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		120000	38000	200000	120000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		2700	690	1400	450

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 2 / 2
Version 01

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

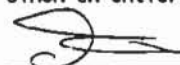
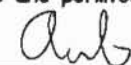
Date d'émission du rapport: 98/05/01
Demande d'analyse : 028124
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : BERUBE, JACQUES INC. (CONSULTANTS)
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence :
BEAUHARNOIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/04/24

PARAMETRE	Unité	No Labo:	105278	105279		
		V/Réf:	#5	#6		
		D.Pr.:	98/04/22	98/04/22		
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		200000	2000		
Manganèse disponible	mg/kg Mn		770	510		

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

 
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc. *pour*

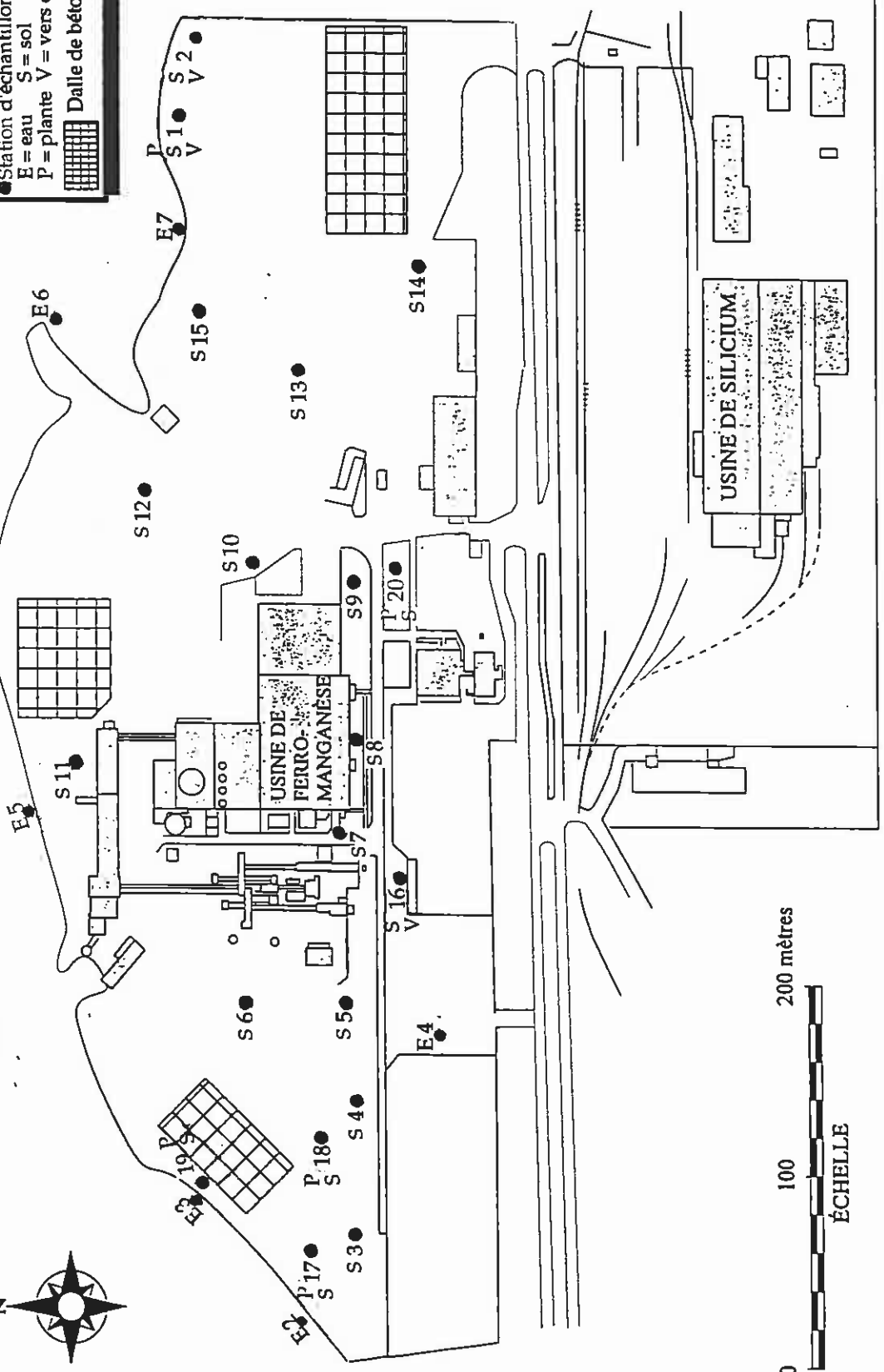


FLEUVE ST-LAURENT



LÉGENDE

- Station d'échantillonnage
- E = eau S = sol
- P = plante V = vers de terre
- ▣ Dalle de béton



Localisation des stations d'échantillonnage (14/07/98)

CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 1 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE D'EAU
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M.JACQUES BERUBE
Prélevé par : M.JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH.EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116156	116157	116158	116159
		V/Réf:	E1	E2	E3	E4
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Manganèse dissous	mg/L Mn		0.02	<0.01	<0.01	3.5

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 2 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE D'EAU
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116160	116161	116162	
		V/Réf:	E5	E6	E7	
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	
		H.Pr.:				
Manganèse dissous	mg/L Mn		<0.01	0.01	0.01	

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 3 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116170	116171	116172	116173
		V/Réf:	S1	S2	S3	S4
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Carbone organique total	mg/kg C		122000*			
Manganèse	mg/kg Mn		83000	34000	98000	340000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		640	440	2900	4100

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

Signature
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 4 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche ltée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur
(418) 871-9556

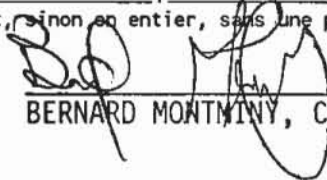
Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116174	116175	116176	116177
		V/Réf:	S5	S6	S7	S8
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Carbone organique total	mg/kg C			54000*		
Manganèse	mg/kg Mn		150000	240000	170000	160000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		1300	1400	3100	2100

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 5 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116178	116179	116180	116181
		V/Réf:	S9	S10	S11	S12
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Carbone organique total	mg/kg C			17300*		22200*
Manganèse	mg/kg Mn		110000	170000	200000	190000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		920	3700	3300	2400

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

[Signature]
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 6 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116182	116183	116184	116185
		V/Réf:	S13	S14	S15	S16
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		130000	120000	180000	6000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		3300	3300	2200	280

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

[Signature]
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 7 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M.JACQUES BERUBE
Prélevé par : M.JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH.EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo: V/Réf:	116186	116187	116188	116189
			S17	S18	S19	S20
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Carbone organique total	mg/kg C		22800*		97100*	
Manganèse	mg/kg Mn		260000	310000	80000	170000
Manganèse disponible	mg/kg Mn		1200	2500	1200	940

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

B. Montminy
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 8 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOL
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M.JACQUES BERUBE
Prélevé par : M.JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH.EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116190	116191		
		V/Réf:	S21	S22		
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14		
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		3000	4600		
Manganèse disponible	mg/kg Mn		290	440		

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

B. Montminy
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 9 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOLIDE
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M.JACQUES BERUBE
Prélevé par : M.JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH.EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116163	116165	116166	116167
		V/Réf:	P1	P17	P18	P19
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		370	120	470	110

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:

[Signature]
BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

PAGE: 10 / 12
Version 03

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOLIDE
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/07/16

PARAMETRE	Unité	No Labo:	116168	116169	118759	118760
		V/Réf:	P20	P21	V1	V2
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:				
Manganèse	mg/kg Mn		390	65	120	72

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



CERTIFICAT D'ANALYSE

ENVIROLAB

Division de Roche Itée
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

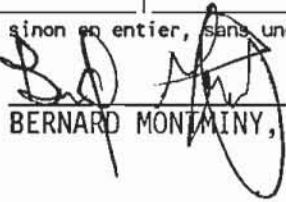
Date d'émission du rapport: 98/08/10
Demande d'analyse : 031276
Sujet : ANALYSE DE SOLIDE
Client : CJB ENVIRONNEMENT INC.
Responsable : M. JACQUES BERUBE
Prélevé par : M. JACQUES BERUBE
Votre référence : ECH. EAU/SOLS/PLANTES/VERS
LAC ST-LOUIS

Echantillon(s) reçu(s) le : 98/08/04

PARAMETRE	Unité	No Labo:	118761	118762	118763
		V/Réf:	V16	V22P	V22S
		D.Pr.:	98/07/14	98/07/14	98/07/14
		H.Pr.:			
Manganèse	mg/kg Mn		39	13	13

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

Approuvé par:


BERNARD MONTMINY, Chim., M.Sc.



ENVIROLAB

Division de Roche Ités
Groupe-conseil
1818, rte de l'Aéroport
Sainte-Foy (Québec)
Canada, G2G 2P8
Téléphone:
(418) 871-8722
Télécopieur:
(418) 871-9556

Date d'émission du rapport: 98/08/10

Demande d'analyse : 031276

R E M A R Q U E S

* Sous-traitance.

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans une permission écrite d'Envirolab

