

**DÉVELOPPEMENT ET DÉMONSTRATION  
D'UN PROTOTYPE MOBILE  
UTILISANT LA TECHNOLOGIE HYDROMET  
POUR LA DÉCONTAMINATION DES SOLS**

**CENTRE DE DOCUMENTATION CSL**  
105, MCGILL, 2ième étage  
MONTRÉAL (Québec) H2Y 2E7  
Tél.: (514) 283-2762  
Fax: (514) 283-9451

**Pierre Geoffroy, M. Sc.**  
**Géocycle Inc.**

**Rédigé pour le Centre Saint-Laurent**  
**Conservation et Protection - Région du Québec**  
**Environnement Canada**

**Décembre 1993**

°Ministre des Approvisionnements et Services

Canada 1993

N° de catalogue En 153-17/1993F

ISBN 0-662-98307-6

### **PERSPECTIVE DE GESTION**

Ce feuillet d'information est publié dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent, dont l'objectif principal est de réduire de 90 p. 100 les rejets liquides toxiques des 50 établissements industriels jugés les plus polluants. Le Plan d'action Saint-Laurent est une initiative d'Environnement Canada en collaboration avec Industrie, Sciences et Technologies Canada et Pêches et Océans. Il vise à protéger, conserver et restaurer le Saint-Laurent.

### **MANAGEMENT PERSPECTIVE**

This information leaflet is published as part of the St. Lawrence Action Plan whose main objective is to reduce by 90 % the toxic liquid waste produced by the 50 industries considered to be the most serious polluters. The St. Lawrence Action Plan was initiated by Environment Canada, in cooperation with Industry, Sciences and Technology Canada, and Fisheries and Oceans, with the goal of protecting conserving and restoring the St. Lawrence.

### **AVIS DE RÉVISION**

Le présent rapport a été examiné par le Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, qui en autorise la publication. Cette autorisation ne signifie pas nécessairement que le contenu du rapport reflète les opinions et les politiques du Ministère. Les mentions de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifient aucunement que leur utilisation est recommandée.

### **COMMENTAIRES DES LECTEURS**

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport à la Direction de la connaissance de l'état de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, 105 McGill, Montréal (Québec) H2Y 2E7.

## V RÉSUMÉ

Afin de définir de nouvelles alternatives de traitement des sols contaminés, Géocycle Inc., filiale de Sani Mobile Montréal Inc., a mis sur pied un programme de développement et de démonstration d'un procédé de lessivage des sols. Ce programme de recherche a été subventionné par le Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) et la Direction de la Recherche et des Technologies Environnementales du Menviq. Le projet a également bénéficié de la participation financière et du support technique d'Hydro-Québec.

Le procédé comporte plusieurs phases successives de lessivage et de rinçage du sol contaminé permettant la récupération des particules de sol jusqu'à un diamètre de 44 microns. L'eau de lavage est recyclée en circuit fermé par le procédé. Les boues (fraction < 44 microns) et les contaminants sont concentrés pour élimination ou traitement ultérieur.

Le programme de recherche et de démonstration avait pour objectif d'atteindre un niveau de contamination inférieur au critère B de la politique de réhabilitation des terrains contaminés du Menviq pour différents types d'hydrocarbures.

Dans le cadre du projet pilote de recherche, cinq différents types de sol contaminé par de l'huile à chauffage, de l'huile isolante à transformateur, de l'huile usée et des pentachlorophénols, ont été traités par l'unité pilote. De façon générale, l'efficacité du procédé varie en fonction de la granulométrie du sol et du type de contaminant.

Pour le matériel granulaire (sable et gravier fin), le procédé a permis d'abaisser la teneur en huiles et graisses minérales en deça du critère B (1000 mg/kg). Pour le matériel de plus fine granulométrie (sable très fin, silt), les analyses sur le sol traité ont donné des résultats en dessous de 2000 mg/kg (critère C = 5000 mg/kg). Dans le cas du traitement de sol contaminé par des pentachlorophénols, le critère C (5 mg/kg) a été atteint sur les fractions grossières du sol traité.

Selon la granulométrie du sol, la technologie a permis de récupérer entre 85 et 95 % du volume traité. Les résidus, composés de la fraction fine du sol (< 44 microns) contiennent les contaminants concentrés et représentent 5 à 15 % du volume traité.

Les bénéfices environnementaux de la technologie sont nombreux, car elle permet de réduire considérablement les volumes de sol contaminé et de réutiliser le sol traité comme matériel de remblais. La technologie a démontré qu'il est possible d'atteindre les critères acceptables du Menviq pour les huiles et graisses minérales à des coûts compétitifs et offre un excellent potentiel de commercialisation.

**ABSTRACT**

To define new alternatives to the treatment of contaminated soils, Géocycle Inc., subsidiary company of Sani Mobile Montréal Inc., has set up a program of development and demonstration of a proceeding of soil washing. This program of research has received a subvention by St. Lawrence Centre (Environment Canada) and of the Direction of Research and Environmental Technologies of Menviq. Also with the financial participation of Hydro-Québec.

The proceeding includes many successive phases of washing and rinsing the contaminated soils allowing the recuperation of soil particles until a diameter of 44 microns. The washing water is recycled in closed circuit by the proceeding. The mud (fraction <44 microns) and the contaminants are concentrated for ulterior elimination or treatment.

The program of research and demonstration had the objective of reaching a lower level of contamination than B criteria regarding rehabilitation of the Menviq contaminated fields by different types of hydrocarbon.

As part of this project of research, five different types of contaminated soils by heating oil, transformer isolating oil, used oil and pentachlorophenols has been treated by the pilot unit. In a general way, the efficiency of the proceeding vary in fonction of the granulometry of the soil and with the type of contaminants.

For the granular material (sand and fine gravel), the proceeding has permit to bring down mineral oil and grease concentration under Menviq B criteria (1,000 mg/kg). For the material of finest granulometry (very fine sand and silt), the analyses on the treated soil had given results under 2,000 mg/kg (C criteria = 5,000 mg/kg). In the case of treatment contaminated soil by pentachlorophenols, the C criteria (5 mg/kg) has been reached in coarse fractions of the treated soil.

According to the soil granulometry, the technology has allowed to recuperate between 85 and 95% of the treated volume. The residues, composed of the fine soil fraction (<44 microns) contains the concentrated contaminants and represents 5 to 15% of the treated volume.

The environmental benefits of the technology are numerous because it allows to reduce considerably the volume of contaminated soils and to reuse the treated material has backfill material. The technology has demonstrated that it was possible to reach the acceptable Menviq criterias for the mineral oils and greases at competitive costs and offer an excellent marketing potential.

## REMERCIEMENTS

Par la présente, nous remercions les personnes et organismes qui ont participé de façon active à la réussite de ce projet. Tout d'abord, nous remercions le Centre Saint-Laurent et leurs représentants, Mme Francine Fortin et M. Gérald Girouard ainsi que le Ministère de l'Environnement du Québec représenté par Mme Renée Gauthier et M. Yves Lefebvre pour la contribution financière des deux paliers de gouvernement et le support technique des intervenants qui ont rendu possible la réalisation du projet.

Nous remercions également M. Gilles Bélisle du Conseil National de Recherche du Canada pour sa participation au comité scientifique du projet. Ses observations et commentaires ont été des plus judicieux et constructifs.

La participation financière et le support technique d'Hydro-Québec ont également joué un rôle important dans la réalisation du projet. Nous remercions MM. Henri Grandjean, Luc Lafrenière et Réjean Michaud de la Région Laurentides et M. André Bériault de la Vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec pour leur participation au projet.

Nous remercions spécialement MM. René Provost, Denis Couture et Langis Gamache de Sani Mobile Montréal Inc. ainsi que toute leur équipe pour leur support technique tout au long du déroulement du projet.

Enfin, nous remercions les employés de Géocycle Inc., MM. François Drouin, géologue, et Claude Lavoie, opérateur, qui par leur implication ont fait de ce projet une réussite.



## TABLE DES MATIÈRES

PERSPECTIVE DE GESTION	III
AVIS DE RÉVISION	IV
RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	VI
REMERCIEMENTS	VII
LISTE DES FIGURES	XVI
LISTE DES TABLEAUX	XVII
<b>1 INTRODUCTION</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Problématique . . . . .	1
1.2 Historique de la technologie . . . . .	1
1.3 Objectifs du projet . . . . .	2
1.4 Contenu du document . . . . .	3
<b>2 DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE</b> . . . . .	<b>4</b>
2.1 Fonctionnement du procédé . . . . .	6
2.1.1 Préparation du matériel . . . . .	6
2.1.2 Système de lessivage et de rinçage . . . . .	6
2.1.3 Système de récupération . . . . .	7
2.1.4 Concentration des contaminants et recyclage de l'eau . . . . .	7
2.1.5 Contrôle des émissions . . . . .	8
2.2 Champ d'application et limites de la technologie . . . . .	8
2.3 Gestion des résidus . . . . .	8
2.3.1 Boues . . . . .	9

	2.3.2	Filtres . . . . .	9
	2.4	Infrastructures de supports . . . . .	9
	2.5	Protocole d'application . . . . .	10
	2.5.1	Étape 1: Caractérisation du sol contaminé . . . . .	10
	2.5.2	Étape 2: Essais de traitement . . . . .	10
	2.5.3	Étape 3: Opération de traitement . . . . .	11
	2.6	Impact sur le milieu environnant . . . . .	11
<b>3</b>		<b>MÉTHODOLOGIE . . . . .</b>	<b>12</b>
	3.1	Description du projet . . . . .	12
	3.1.1	Développement phase I . . . . .	12
	3.1.2	Développement phase II . . . . .	12
	3.1.3	Démonstration . . . . .	13
	3.2	Gestion du projet . . . . .	13
	3.2.1	Financement du projet . . . . .	15
	3.2.2	Collaboration scientifique . . . . .	15
	3.2.3	Support technique . . . . .	16
	3.2.4	Industries participantes . . . . .	16
	3.3	Description des opérations . . . . .	16
	3.3.1	Caractérisation du sol contaminé . . . . .	16
	3.3.2	Prélèvement des échantillons . . . . .	17
	3.3.3	Contrôle analytique . . . . .	17
	3.4	Critères de décontamination . . . . .	17
<b>4</b>		<b>ESSAIS PRÉLIMINAIRES . . . . .</b>	<b>18</b>
	4.1	Objectifs . . . . .	18
	4.2	Équipements utilisés . . . . .	18
	4.3	Description des essais . . . . .	19
	4.4	Résultats des essais préliminaires de lessivage . . . . .	19
	4.4.1	Nombre de paliers et pression de l'eau . . . . .	22

4.4.2	Température de l'eau	22
4.4.3	Nombre de passes dans le réacteur	22
4.5	Résultats des essais préliminaires de rinçage à la vapeur	22
4.6	Conclusions préliminaires pour les essais ultérieurs	23
<b>5</b>	<b>DÉVELOPPEMENT PHASE I</b>	<b>24</b>
5.1	Objectifs	24
5.2	Compilation des données existantes	24
5.3	Équipements utilisés	24
5.4	Prélèvement des échantillons	25
5.5	Caractérisation du sol contaminé	27
5.5.1	Sol contaminé de type A	27
5.5.2	Sol contaminé de type B	30
5.6	Essais comparatifs	32
5.7	Étude des principaux paramètres d'opération	34
5.7.1	Température de l'eau	34
5.7.2	Nombre de paliers, première passe	36
5.7.3	Pression de l'eau, première passe	38
5.7.4	Nombre de paliers, deuxième passe	40
5.7.5	Pression de l'eau, deuxième passe	43
5.7.6	Paramètres d'opération influençant l'efficacité du traitement	46
5.8	Utilisation de détergents	47
5.8.1	Essais en laboratoire	47
5.8.2	Essais de lessivage	50
5.9	Essais de couplage	52
5.10	Recommandations pour la deuxième phase de développement	53
<b>6</b>	<b>DÉVELOPPEMENT PHASE II</b>	<b>54</b>
6.1	Objectifs	54

6.2	Équipements utilisés . . . . .	54
6.3	Prélèvement des échantillons . . . . .	55
6.4	Sol contaminé de type B' . . . . .	57
6.4.1	Provenance . . . . .	57
6.4.2	Caractérisation . . . . .	57
6.4.3	Conditions d'opération . . . . .	59
6.4.4	Résultats d'analyses . . . . .	60
6.4.5	Efficacité du traitement . . . . .	61
6.4.6	Comparaison avec les résultats précédents . . . . .	63
6.4.7	Eau générée . . . . .	64
6.4.8	Boues générées . . . . .	65
6.4.9	Bilan de masse . . . . .	65
6.5	Sol contaminé de type C . . . . .	66
6.5.1	Provenance . . . . .	66
6.5.2	Caractérisation . . . . .	67
6.5.3	Conditions d'opération . . . . .	69
6.5.4	Résultats d'analyses . . . . .	70
6.5.5	Efficacité du traitement . . . . .	72
6.5.6	Eau générée . . . . .	73
6.5.7	Boues générées . . . . .	74
6.5.8	Bilan de masse . . . . .	75
6.6	Sol contaminé de type D . . . . .	77
6.6.1	Provenance. . . . .	77
6.6.2	Caractérisation. . . . .	77
6.6.3	Conditions d'opération. . . . .	79
6.6.4	Résultats d'analyses. . . . .	80
6.6.5	Efficacité du traitement . . . . .	82
6.6.6	Eau générée . . . . .	83
6.6.7	Boues générées . . . . .	84
6.6.8	Bilan de masse . . . . .	84

6.7	Recyclage de l'eau . . . . .	86
6.7.1	Objectifs . . . . .	86
6.7.2	Caractérisation des eaux générées . . . . .	86
6.7.3	Essais de coagulation . . . . .	88
6.8	Centrifugation des boues . . . . .	90
6.8.1	Objectifs . . . . .	90
6.8.2	Méthodologie . . . . .	90
6.8.3	Résultats d'analyses . . . . .	91
6.9	Efficacité du traitement en fonction de la granulométrie du sol . .	93
<b>7</b>	<b>DÉMONSTRATION . . . . .</b>	<b>97</b>
7.1	Objectifs . . . . .	97
7.2	Historique du site . . . . .	97
7.3	Équipements utilisés . . . . .	98
7.3.1	Traitement des granulats . . . . .	98
7.3.2	Concentration des contaminants et recyclage de l'eau . . .	98
7.3.3	Autres équipements . . . . .	99
7.4	Caractérisation du sol . . . . .	99
7.4.1	Essai granulométrique. . . . .	99
7.4.2	Analyses chimiques. . . . .	101
7.5	Prélèvement des échantillons . . . . .	101
7.6	Essais de traitement . . . . .	103
7.6.1	Prélèvement du sol contaminé. . . . .	103
7.6.2	Conditions d'opération. . . . .	103
7.6.3	Résultats d'analyses. . . . .	104
7.6.4	Efficacité du traitement. . . . .	106
7.6.5	Recyclage de l'eau. . . . .	106
7.6.6	Boues générées. . . . .	106
7.6.7	Bilan de masse. . . . .	106
7.6.8	Recommandations pour la démonstration. . . . .	108

7.7	Démonstration . . . . .	108
7.7.1	Mobilisation des équipements. . . . .	108
7.7.2	Conditions d'opération. . . . .	109
7.7.3	Résultats d'analyses. . . . .	109
7.7.4	Efficacité du traitement. . . . .	113
7.7.5	Capacité de production. . . . .	115
7.7.6	Recyclage de l'eau. . . . .	115
7.7.7	Boues générées. . . . .	116
7.7.8	Bilan de masse. . . . .	117
7.8	Évaluation du bruit . . . . .	119
7.9	Entretien des équipements . . . . .	119
7.10	Visiteurs . . . . .	119
<b>8</b>	<b>CONTRÔLE ANALYTIQUE . . . . .</b>	<b>121</b>
8.1	Méthodes analytiques . . . . .	122
8.2	Contrôle interne des laboratoires . . . . .	123
8.3	Contrôle analytique des huiles et graisses minérales pour les phases I et II de développement . . . . .	123
8.3.1	Mesures de contrôle . . . . .	123
8.3.2	Contrôle par un deuxième laboratoire . . . . .	124
8.3.3	Échantillons préparés par le Menviq . . . . .	124
8.3.4	Échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq . . . . .	125
8.4	Contrôle analytique des huiles et graisses minérales au cours de la démonstration . . . . .	125
8.4.1	Mesures de contrôle . . . . .	125
8.4.2	Contrôle par un deuxième laboratoire et par le Menviq . . . . .	126
8.4.3	Résultats des échantillons dosés . . . . .	127
8.4.4	Échantillons préparés par le Menviq . . . . .	128

8.5	Conclusion sur le contrôle analytique des huiles et graisses minérales . . . . .	128
8.6	Contrôle analytique des composés phénoliques . . . . .	128
<b>9</b>	<b>BILAN DE MASSE . . . . .</b>	<b>130</b>
9.1	Méthodologie: Phase I du développement . . . . .	130
9.2	Méthodologie: Phase II du développement et démonstration . . .	130
9.3	Bilan des débits . . . . .	131
9.4	Bilan de masse du sol traité . . . . .	132
9.5	Bilan de masse des huiles et graisses minérales . . . . .	133
9.6	Bilan de masse des composés phénoliques et des métaux . . . . .	135
9.7	Bilan énergétique . . . . .	135
	9.7.1 Température de l'eau . . . . .	135
	9.7.2 Consommation d'électricité . . . . .	136
9.8	Conclusion sur le bilan de masse . . . . .	136
<b>10</b>	<b>COÛTS D'OPÉRATION . . . . .</b>	<b>137</b>
10.1	Investissements . . . . .	137
10.2	Frais annuels de main d'oeuvre . . . . .	138
10.3	Redevances . . . . .	138
10.4	Frais fixes . . . . .	139
10.5	Frais variables . . . . .	140
10.6	Coûts d'opération excluant l'élimination des résidus . . . . .	140
10.7	Élimination des résidus . . . . .	141
<b>11</b>	<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS . . . . .</b>	<b>143</b>
11.1	Performances de la technologie . . . . .	143
11.2	Recommandations pour les essais futurs . . . . .	143
11.3	Aspects concurrentiels de la technologie . . . . .	144
11.4	Potentiel de commercialisation . . . . .	144

**ANNEXES**

- 1 Données techniques sur les contaminants
- 2 Données techniques sur les détergents
- 3 Certificats d'analyses
- 4 Interprétation du contrôle analytique
- 5 Évaluation du bruit généré par l'opération des équipements

## LISTE DES FIGURES

1	Schéma du procédé Géocycle . . . . .	5
2	Schéma des installations . . . . .	10
3	Organigramme de gestion du projet . . . . .	14
4	Équipements utilisés pour les essais préliminaires . . . . .	18
5	Équipements utilisés, développement phase I . . . . .	25
6	Prélèvement des échantillons, développement phase I . . . . .	26
7	Courbe granulométrique, sol de type A . . . . .	29
8	Courbe granulométrique, sol de type B . . . . .	31
9	Équipements utilisés, développement phase II . . . . .	55
10	Prélèvement des échantillons, développement phase II . . . . .	56
11	Courbe granulométrique, sol de type B' . . . . .	58
12	Courbe granulométrique, sol de type C . . . . .	68
13	Courbe granulométrique, sol de type D . . . . .	78
14	Limites de décontamination en fonction de la proportion de résidus . . .	95
15	Limites de décontamination en fonction de la granulométrie . . . . .	96
16	Courbe granulométrique, sol de type E . . . . .	101
17	Prélèvement des échantillons, démonstration . . . . .	102
18	Aménagement du site de la démonstration . . . . .	109
19	Bilan des débits . . . . .	131
20	Bilan de masse du sol traité . . . . .	132
21	Temps de séjour du matériel dans le procédé . . . . .	133
22	Bilan de masse des huiles et graisses minérales . . . . .	134
23	Bilan énergétique . . . . .	135

## LISTE DES TABLEAUX

1	Description des étapes du projet . . . . .	12
2	Répartition des sommes investies . . . . .	15
3	Composition du comité scientifique . . . . .	15
4	Description des sols contaminés . . . . .	16
5	Critères de décontamination pour les sols et les eaux souterraines . . . . .	17
6	Résultats d'analyses, essais préliminaires de lessivage . . . . .	21
7	Résultats d'analyses, essais préliminaires de rinçage à la vapeur . . . . .	23
8	Prélèvement des échantillons, développement phase I . . . . .	26
9	Granulométrie, sol de type A . . . . .	28
10	Caractérisation, sol de type A . . . . .	29
11	Granulométrie, sol de type B . . . . .	31
12	Caractérisation, sol de type B . . . . .	32
13	Résultats des essais comparatifs . . . . .	33
14	Température de l'eau . . . . .	35
15	Nombre de paliers, première passe . . . . .	37
16	Pression de l'eau, première passe . . . . .	39
17	Nombre de paliers, deuxième passe, sol de type A . . . . .	41
18	Nombre de paliers, deuxième passe, sol de type B . . . . .	42
19	Pression de l'eau, deuxième passe, sol de type A . . . . .	44
20	Pression de l'eau, deuxième passe, sol de type B . . . . .	45
21	Efficacité du traitement . . . . .	46
22	Essais de détergents en laboratoire . . . . .	48
23	Choix des détergents . . . . .	50
24	Essais de lessivage avec détergent . . . . .	51
25	Essais de couplage . . . . .	52

## XVIII

26	Prélèvement des échantillons, développement phase II . . . . .	57
27	Granulométrie, sol de type B' . . . . .	58
28	Caractérisation, sol de type B' . . . . .	59
29	Conditions d'opération, sol de type B' . . . . .	60
30	Résultats d'analyses, sol de type B' . . . . .	61
31	Comparaison des résultats obtenus sur les sols de type B et B' . . . . .	63
32	Eau générée, sol de type B' . . . . .	65
33	Boues générées, sol de type B' . . . . .	65
34	Bilan de masse, sol de type B' . . . . .	66
35	Granulométrie, sol de type C . . . . .	67
36	Caractérisation, sol de type C . . . . .	69
37	Conditions d'opération, sol de type C . . . . .	70
38	Résultats d'analyses, sol de type C . . . . .	71
39	Eau générée, sol de type C . . . . .	74
40	Boues générées, sol de type C . . . . .	74
41	Bilan de masse, sol de type C . . . . .	76
42	Granulométrie, sol de type D . . . . .	77
43	Caractérisation, sol de type D . . . . .	79
44	Conditions d'opération, sol de type D . . . . .	80
45	Résultats d'analyses, sol de type D . . . . .	81
46	Eau générée, sol de type D . . . . .	83
47	Boues générées, sol de type D . . . . .	84
48	Bilan de masse, sol de type D . . . . .	85
49	Caractérisation des eaux générées . . . . .	87
50	Résultats des analyses des eaux surnageantes lors des essais de coagulation . . . . .	89
51	Essais de centrifugation . . . . .	92
52	Résultats d'analyses des boues centrifugées . . . . .	93
53	Efficacité du traitement en fonction du type de sol . . . . .	94
54	Limites de décontamination en fonction de la granulométrie . . . . .	95

## XIX

55	Caractérisation par Hydro-Québec et proportions des mélanges . . . . .	98
56	Milieus filtrants, unité de filtration de l'eau . . . . .	99
57	Granulométrie, sol de type E . . . . .	100
58	Caractérisation, sol de type E . . . . .	101
59	Prélèvement des échantillons, démonstration . . . . .	103
60	Conditions d'opération des essais de traitement, sol de type E . . . . .	104
61	Résultats d'analyses des essais de traitement . . . . .	105
62	Dosage des coagulants . . . . .	106
63	Bilan de masse des essais de traitement . . . . .	107
64	Conditions d'opération recommandées pour l'étape de démonstration . .	108
65	Résultats d'analyses des échantillons S1 . . . . .	110
66	Résultats d'analyses des échantillons S10 . . . . .	111
67	Résultats d'analyses de la démonstration . . . . .	112
68	Bilan des résultats d'analyses de la démonstration . . . . .	113
69	Capacité de production . . . . .	115
70	Résultats d'analyses des filtres . . . . .	116
71	Boues générées . . . . .	116
72	Bilan de masse de la démonstration . . . . .	118
73	Visiteurs . . . . .	120
74	Méthodes d'analyses pour les échantillons de sol . . . . .	122
75	Méthodes d'analyses pour les échantillons d'eau . . . . .	123
76	Mesures de contrôle analytique, développement phases I et II . . . . .	124
77	Contrôle effectué par un deuxième laboratoire (Novalab) . . . . .	124
78	Échantillons de contrôle préparés par le Menviq . . . . .	125
79	Échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq . . . . .	125
80	Mesures de contrôle analytique, démonstration . . . . .	126
81	Contrôle effectué par un deuxième laboratoire (ECO-CNFS) et par le Menviq . . . . .	126
82	Analyses des échantillons dosés . . . . .	127
83	Échantillons de contrôle préparés par le Menviq . . . . .	128

84	Contrôle analytique des pentachlorophénols . . . . .	129
85	Détail des investissements . . . . .	137
86	Frais annuels de main d'oeuvre . . . . .	138
87	Redevances, taux annuels . . . . .	138
88	Calcul des frais fixes . . . . .	139
89	Frais variables, taux horaires . . . . .	140
90	Coûts d'opération excluant l'élimination des résidus . . . . .	140
91	Coûts d'opération incluant l'élimination des résidus . . . . .	141



# **1 INTRODUCTION**

## **1.1 Problématique**

La gestion des sols contaminés a longtemps été orientée vers l'enfouissement ou le confinement en cellules sécuritaires. En avril 1990, le groupe GERLED dénombrait 1095 sites contaminés au Québec, dont 346 présentant un potentiel de risque pour la santé publique. Le Menviq estimait récemment qu'environ 60 % des cas de contamination des sols sont attribuables aux hydrocarbures. Depuis l'application de la nouvelle loi sur les produits pétroliers en juillet 1992, l'enlèvement et le remplacement de réservoirs souterrains génèrent de grandes quantités de sol contaminé principalement par des hydrocarbures.

Afin de développer de nouvelles alternatives à la gestion des sols contaminés, Géocycle Inc., filiale de Sani Mobile Montréal Inc., a mis sur pied un programme de recherche et de démonstration d'une technologie de décontamination des sols utilisant un procédé de lessivage.

Ce programme a été parrainé par le Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) et par la Direction de la Recherche et des Technologie Environnementales du Ministère de l'Environnement du Québec. Géocycle Inc. a également bénéficié de la contribution financière et du support technique d'Hydro-Québec pour la réalisation du projet.

## **1.2 Historique de la technologie**

Le lavage du sol contaminé a été développé en Europe au début des années 80. Peu répandue en Amérique du Nord, cette technologie a suscité un intérêt grandissant au cours des dernières années.

Le lavage du sol contaminé est avant tout une technique de réduction de volume et s'adresse aux sols de type granulaire. Les contaminants présents dans le sol sont généralement contenus dans la fraction fine du matériel (silt et argile). Le principe du lavage de sol consiste à séparer les fractions grossières (sable et gravier) des fractions fines du sol.

Après lavage, les fractions grossières du sol peuvent être réutilisées comme matériel de remblais sur le terrain. Les fractions fines du sol contenant les contaminants sont traitées ou éliminées et représentent un volume réduit par rapport au volume de sol traité.

### **1.3 Objectifs du projet**

Le programme de développement et de démonstration visait la construction d'une unité mobile de traitement des sols d'une capacité de production d'environ deux tonnes à l'heure.

Les principaux objectifs du développement du procédé étaient d'atteindre le critère B de la politique de réhabilitation des terrains contaminés du Menviq de façon à permettre la réutilisation des sols pour un usage résidentiel, tout en générant une quantité de résidu réduite et ce, à des coûts d'opération compétitifs aux autres technologies disponibles pour le traitement ou l'élimination des sols contaminés. Le programme visait le traitement de sol contaminé par des huiles et graisses minérales, des BPC, des composés phénoliques et des métaux.

Une première phase de développement avait pour objectif l'étude de différents paramètres tels que la température et la pression de l'eau en fonction de la granulométrie du matériel, dans le but d'optimiser l'efficacité du procédé. Les essais ont été réalisés sur deux différents types de sol contaminé.

La deuxième phase de développement comprenait l'achèvement de la construction de l'unité de lessivage et une série d'essais sur trois différents types de sol contaminé dans le but d'évaluer l'efficacité du procédé, les volumes de résidu généré et les coûts d'opération, en fonction du type de sol traité.

Le développement du procédé a été suivi d'une démonstration sur le terrain: Un volume de 83 mètres cubes de sol contaminé a été traité au cours de la démonstration de la technologie.

#### **1.4 Contenu du document**

Ce rapport présente une description de la technologie et de la méthodologie observée au cours des différentes étapes du projet, suivie de la synthèse des résultats obtenus. Les résultats du contrôle analytique et une estimation des coûts d'opération sont également présentés.



## 2 DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

À l'opposé des modes d'encapsulation qui visent essentiellement à minimiser le phénomène de lixiviation, le procédé développé par Géocycle Inc. (figure 1) vise à lessiver le matériel dans le but d'extraire les contaminants et de les concentrer.

Après une première étape de préparation du matériel consistant à l'extraction et au rinçage des particules grossières, le sol contaminé subit plusieurs stages de lessivage sous pression et de rinçage sur tamis vibrants. Le lessivage du matériel est réalisé dans un réacteur (Hydromet<sup>mc</sup>) qui fut développé initialement pour le secteur minier. La technique repose sur un principe de lixiviation en continu du matériel par injection de réactifs sous pression.

Le réacteur, développé par Hydromet Décontamination Inc. et utilisé dans le cadre du programme de développement, a un diamètre de 5,08 centimètres (cm). Il est constitué de plusieurs paliers (8 à 13) superposés de jets d'eau sous pression auxquels sont combinés des effets de rideaux et de tourbillons permettant un lessivage accru des particules.

Le réacteur a fait l'objet d'une demande de brevet par Hydromet Décontamination Inc. et Géocycle Inc. détient une licence exclusive d'exploitation de la technologie pour l'ensemble du Canada.

Le lessivage du matériel est suivi d'un rinçage sur tamis permettant l'extraction des particules fines et des contaminants. L'eau usée et les vapeurs condensées sont acheminées vers une unité de traitement permettant la récupération des boues et des contaminants et le recyclage de l'eau dans le procédé.

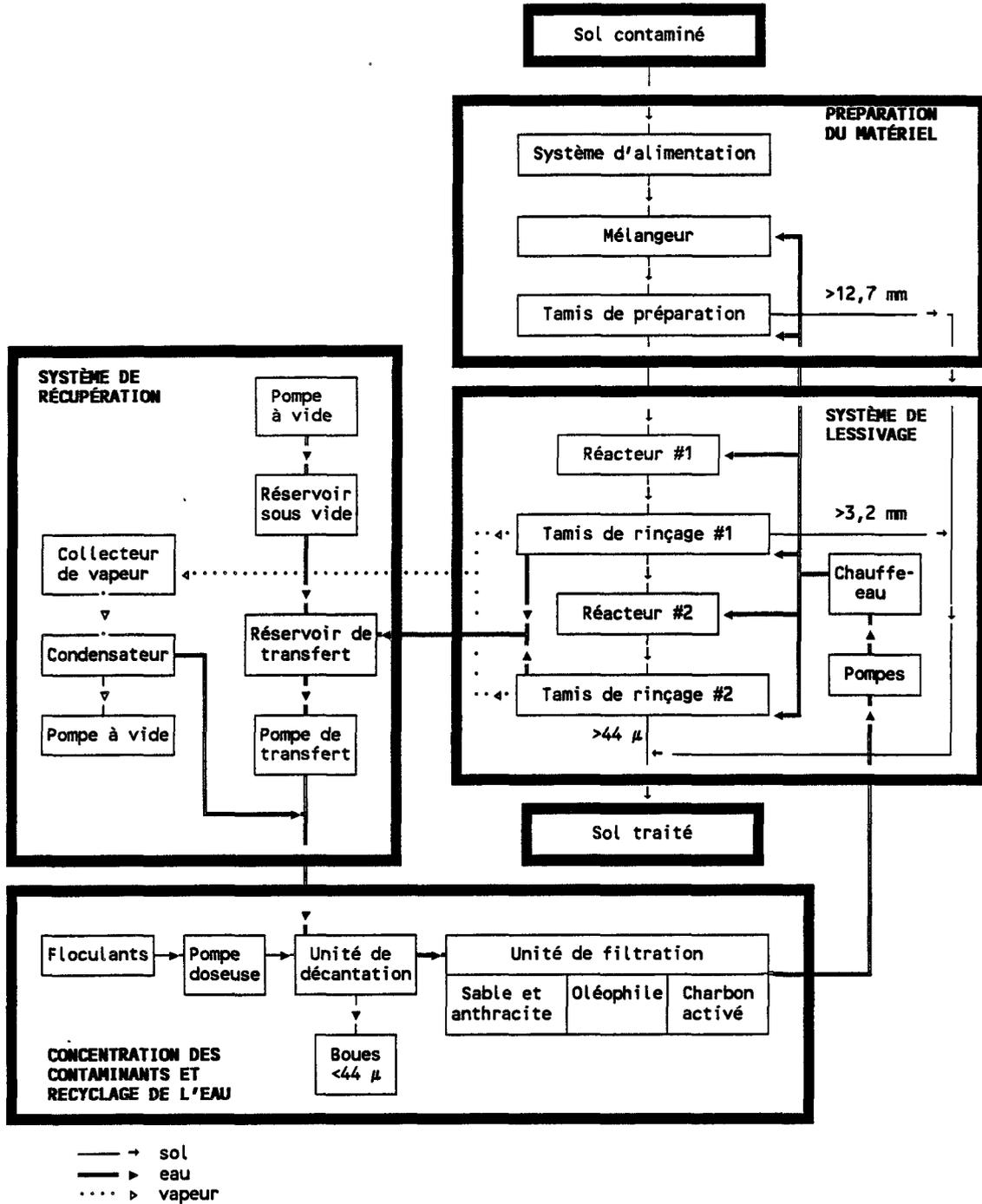


Figure 1 Schéma du procédé Géocycle

## **2.1 Fonctionnement du procédé**

**2.1.1 Préparation du matériel.** - Le sol contaminé est introduit dans un système d'alimentation à vitesse variable qui achemine le matériel vers le mélangeur. Le mélangeur, muni de jets d'eau chaude à l'entrée, permet la désagglomération du matériel.

À la sortie du mélangeur, le tamis de préparation d'une maille de 1,27 centimètre et muni de jets d'eau chaude, permet l'extraction et le rinçage des particules de gros diamètres. La maille du tamis de préparation peut être ajustée en fonction de la granulométrie et du type de matériel traité.

**2.1.2 Système de lessivage et de rinçage.** - Suite à l'étape de préparation, le sol contaminé subit un premier lessivage à l'eau chaude sous pression dans le réacteur #1. À la sortie du réacteur, le matériel lessivé est rincé sur le tamis de rinçage #1 comportant deux étages avec jets d'eau chaude sur chacun des étages. La maille de l'étage supérieur du tamis de rinçage #1 (1,6 mm ou 3,2 mm) est ajustée en fonction de la granulométrie du matériel traité. Une maille de 325 mèches (44 microns d'ouverture) est installée sur l'étage inférieur du tamis.

À ce stage du traitement, selon le type de matériel traité, la fraction grossière de sol lessivé (étage supérieur du tamis de rinçage #1) peut être extraite du procédé. Le choix d'extraire ou non la fraction grossière de matériel après une première phase de lessivage et de rinçage est effectué en fonction des résultats d'analyses obtenus et des objectifs de décontamination visés. Dans le cas où la fraction grossière est extraite du procédé, elle est dirigée vers les convoyeurs de sortie.

Le sol récupéré à la sortie du tamis de rinçage #1 (étage inférieur, avec ou non l'étage supérieur) est acheminé vers le réacteur #2. Cette deuxième phase de lessivage, effectuée à une pression plus élevée, permet d'accroître le taux de décontamination du matériel, principalement sur les fractions fines du sol.

À la sortie du réacteur #2, le sol lessivé est rincé sur le tamis de rinçage #2 comportant deux étages avec jets d'eau chaude sur chacun des étages. La maille

de l'étage supérieur du tamis est ajustée en fonction de la granulométrie du matériel traité. Dans le cas de l'extraction de la fraction grossière après le premier stade de lessivage, une maille inférieure à celle du tamis de rinçage #1 (0,84 mm ou 1,6 mm) est utilisée de façon à obtenir une bonne répartition du matériel entre les deux étages du tamis.

L'ensemble de l'eau nécessaire au procédé est fournie par des pompes à pistons reliées à des chauffe-eau alimentés au propane et permettant d'atteindre des températures d'opération approchant le point d'ébullition.

**2.1.3 Système de récupération.** - Les eaux de lessivage et de rinçage contenant la fraction fine du matériel traité (< 44 microns) où sont concentrés les contaminants, sont récupérées à la base des tamis de rinçage. Le système de récupération est relié à une pompe à vide qui accélère le retrait de l'eau et des contaminants. Ceux-ci sont emmagasinés dans un réservoir relié à une pompe de transfert permettant de les acheminer vers le système de concentration des contaminants et de recyclage de l'eau.

Des collecteurs de vapeur installés au-dessus des tamis sont reliés à une pompe à vide permettant la récupération des vapeurs générées par le procédé. Les vapeurs sont condensées, puis acheminées vers le système de recyclage de l'eau.

**2.1.4 Concentration des contaminants et recyclage de l'eau.** - L'eau usée générée par l'unité de lessivage est acheminée vers l'unité de décantation. À l'entrée du décanteur, des pompes doseuses et un mélangeur statique permettent l'ajout de coagulants et de flocculants afin d'accélérer la décantation de la matière en suspension. Le décanteur, comportant plusieurs sections, est du type lamellaire. Les boues sont récupérées à la base du décanteur. Les huiles en suspension sont récupérées à la surface de l'eau par un écumeur.

L'eau décantée est par la suite acheminée vers l'unité de filtration qui comprend des filtres au sable, anthracite, oléophile et charbon activé. L'étape de

filtration de l'eau permet d'atteindre une qualité d'eau acceptable afin de la réutiliser en circuit fermé dans le procédé.

#### **2.1.5 Contrôle des émissions. -**

- Air:** L'ensemble des vapeurs est capté, condensé et recyclé par le procédé;
- Eau:** Le procédé fonctionne en circuit fermé. Aucun effluent n'est émis par l'unité de traitement;
- Sol:** Le sol traité est entreposé jusqu'à la production des résultats d'analyses;
- Résidus:** Les résidus sont entreposés dans des contenants sécuritaires jusqu'à leur élimination ou traitement ultérieur.

### **2.2 Champ d'application et limites de la technologie**

La technologie s'adresse aux sols de type granulaire contenant une proportion de particules fines inférieure à 20 %. Les particules ayant un diamètre inférieur à 44 microns constituent les résidus du procédé et leur présence en grande quantité augmente les coûts reliés à leur élimination.

Le procédé vise principalement le lessivage de sol contaminé par des hydrocarbures. Les métaux peuvent également être concentrés dans les résidus du procédé. Cependant, les critères de décontamination très bas pour certains contaminants peuvent limiter l'application de la technologie.

Bien que le procédé ne puisse traiter l'ensemble du matériel (fraction < 44 microns), son application vise à réduire de façon considérable les volumes de sol contaminé en concentrant les contaminants dans les résidus dont les quantités représentent des volumes réduits par rapport aux volumes de sol traité.

### **2.3 Gestion des résidus**

Deux types de résidu sont générés par le procédé de traitement:

- Les boues correspondant à la fraction du sol inférieure à 44 microns;

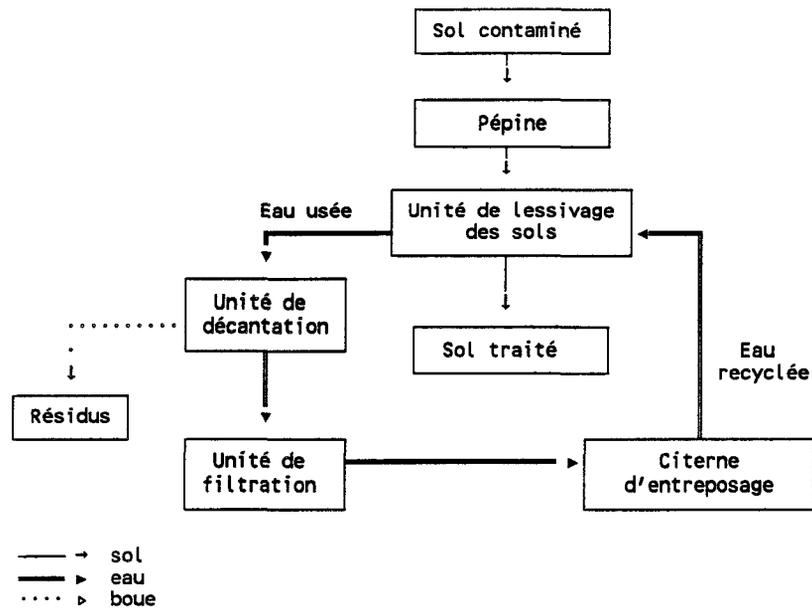
- Les filtres de l'unité de filtration de l'eau.

**2.3.1 Boues.** - Les boues générées par le procédé sont recueillies à la base de l'unité de décantation et contiennent la majeure partie des contaminants. Elles peuvent être éliminées de façon traditionnelle en cellules sécuritaires ou par incinération. La centrifugation des boues avant leur élimination peut en réduire le volume, diminuant ainsi les frais de disposition. La dégradation des boues en bio-réacteur représente également une solution potentielle à l'élimination des résidus de traitement.

**2.3.2 Filtres.** - Les milieux filtrants de l'unité de filtration de l'eau doivent être remplacés de façon périodique. Ils sont composés de sable, anthracite, oléophile, et charbon activé. De plus, ils contiennent une certaine quantité de contaminants. Ils peuvent être éliminés par incinération ou enfouissement en cellules sécuritaires.

## **2.4 Infrastructures de supports**

L'opération des unités de traitement des sols et de recyclage de l'eau nécessite le raccordement à des entrées électriques de 600 volts (85 ampères) et de 240 volts (30 ampères) respectivement. À défaut d'électricité disponible sur le site des opérations, des génératrices doivent être mobilisées sur le terrain. L'unité de lessivage requiert le raccordement à un réservoir de propane d'une capacité de 10 000 litres. Les opérations de traitement nécessitent également la mobilisation d'une pépinière et d'une citerne d'entreposage. La figure 2 présente un schéma de l'installation des équipements de traitement.



**Figure 2 Schéma des installations**

## 2.5 Protocole d'application

**2.5.1 Étape 1: Caractérisation du sol contaminé.** - Dans un premier temps, un examen des données sur la granulométrie du matériel et des analyses chimiques disponibles ainsi qu'une reconnaissance du terrain sont réalisés. Au besoin, un échantillon composite du sol contaminé est prélevé afin de procéder à des analyses chimiques et granulométriques du sol supplémentaires dans le but de compléter la caractérisation du matériel.

Ces données permettent d'évaluer les contaminants présents dans le sol ainsi que leur concentration. L'étude de la granulométrie du sol permet d'évaluer les quantités de résidu généré par le lessivage ainsi que le choix des mailles des tamis afin d'obtenir une bonne répartition du matériel sur les différents étages des tamis.

**2.5.2 Étape 2: Essais de traitement.** - Suite à la caractérisation du sol contaminé, un essai de traitement sur un volume de deux à cinq mètres cubes est réalisé.

Le but de cet essai est d'évaluer l'efficacité du procédé et les quantités de résidu généré pour le type de matériel traité, afin de préciser les coûts d'opération et d'évaluer la faisabilité du projet.

**2.5.3 Étape 3: Opération de traitement.** - Si les résultats des essais de traitement sont concluants, les opérations peuvent être entreprises en mobilisant les équipements sur le terrain ou en transportant le sol contaminé à des installations fixes.

## **2.6 Impact sur le milieu environnant**

Les bénéfices environnementaux de la technologie sont nombreux puisqu'en réduisant de façon considérable les volumes des sols contaminés et en concentrant les contaminants, elle permet de restreindre l'utilisation d'autres modes de gestion visant le confinement ou l'encapsulation des sols contaminés. Les équipements peuvent être facilement mobilisés sur le site et le sol traité peut, selon l'usage prévu du terrain et le niveau de décontamination atteint, être réutilisé comme matériel de remblais.

### 3 MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Description du projet

Préalablement au projet de développement et de démonstration, des essais préliminaires de traitement de sol ont été réalisés. Les résultats de ces essais sont présentés au chapitre 4.

Le programme de développement et de démonstration est divisé en trois étapes présentées au tableau 1.

**Tableau 1 Description des étapes du projet**

Étape	Description	Sol contaminé utilisé	Volume de sol traité
Développement phase I	Étude et ajustement des principaux paramètres d'opération du procédé	2 types (A et B)	30 m <sup>3</sup>
Développement phase II	Traitement de différents types de sol et de contaminant	3 types (B', C et D)	15 m <sup>3</sup>
Démonstration	Démonstration de la technologie sur le terrain	1 type (E)	83 m <sup>3</sup>

**3.1.1 Développement phase I.** - La première phase de développement consiste en la construction d'une partie de l'unité pilote de traitement des sols et la réalisation de différents essais de traitement visant l'étude et l'ajustement de différents paramètres d'opération tels que la température, la pression et le débit de l'eau de lavage, la vitesse d'alimentation et l'exécution de plusieurs étapes de lavages successifs du sol.

Les essais ont été réalisés sur deux différents types de sol contaminé (type A et B). Des volumes de 15 mètres cube ont été traités pour chacun des deux types de sol.

**3.1.2 Développement phase II.** - La deuxième phase de développement avait pour objectif de compléter la construction de l'unité pilote et la réalisation d'essais de traitement sur trois différents types de sol contaminé (type B', C et D), dont un type

utilisé au cours de l'étape précédente (type B). Un volume total de 15 mètres cubes de sol a été traité, soit 5 mètres cubes par type de sol.

**3.1.3 Démonstration.** - La dernière étape du projet consistait en la mobilisation des équipements pour une démonstration de la technologie en conditions réelles de terrain. Des volumes de 8 mètres cubes et de 75 mètres cubes ont été traités en essai de rodage et en démonstration pour un volume total de 83 mètres cubes de sol.

### **3.2 Gestion du projet**

La figure 3 présente l'organigramme de gestion du projet et identifie les principaux intervenants.

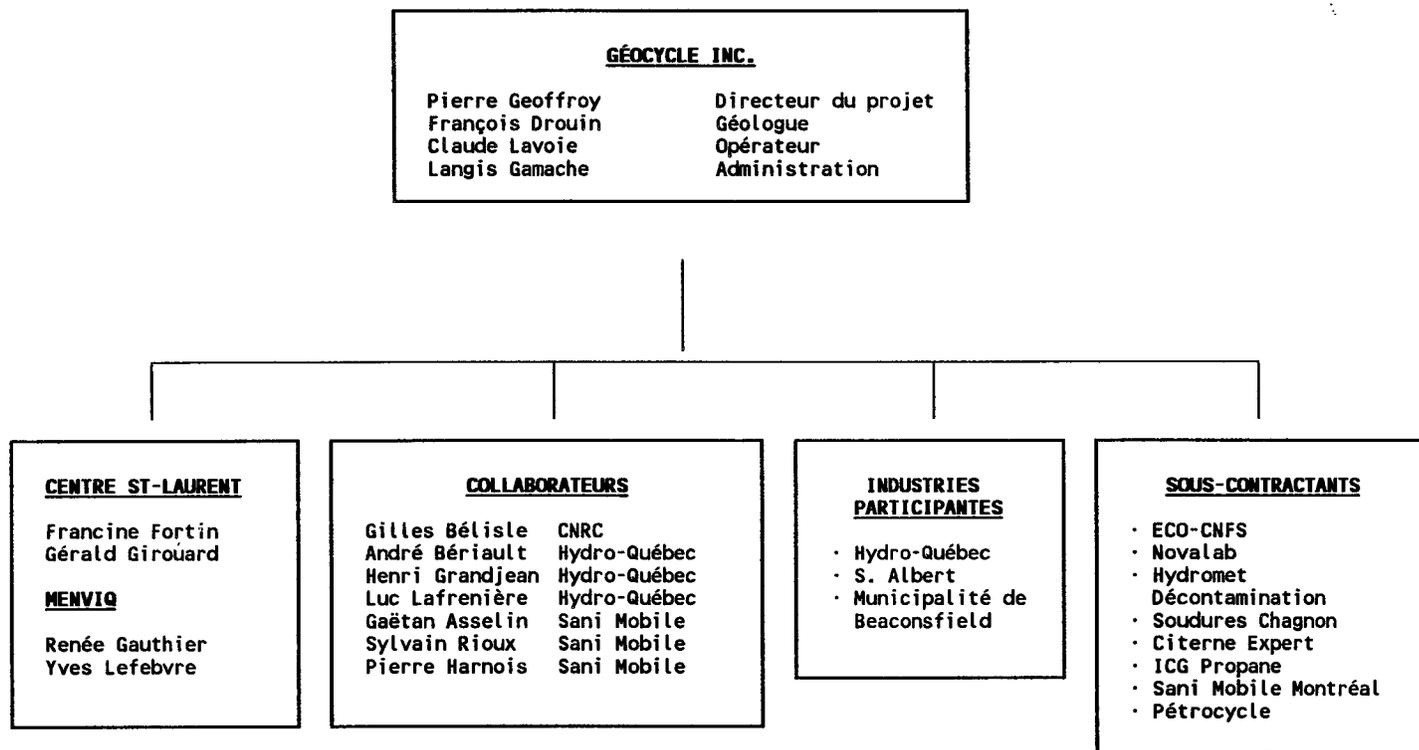


Figure 3 Organigramme de gestion du projet

**3.2.1 Financement du projet.** - Le projet a bénéficié de subventions du Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) et de la Direction de la recherche et des technologies environnementales (Menviq). Géocycle Inc. a également bénéficié de la participation financière d'Hydro-Québec (Région Laurentides et Vice-présidence Environnement). Le tableau 2 présente la répartition des sommes investies.

**Tableau 2 Répartition des sommes investies**

<b>Organisme</b>	<b>Sommes investies</b>
Centre St-Laurent	159 800 \$
Menviq	160 000 \$
Hydro-Québec	50 000 \$
Géocycle Inc.	138 032 \$
<b>TOTAL</b>	<b>507 832 \$</b>

**3.2.2 Collaboration scientifique.** - Tout au long du projet, Géocycle Inc. a été appuyé par le comité scientifique dont les participants sont présentés au tableau 3.

**Tableau 3 Composition du comité scientifique**

<b>Organisme</b>	<b>Participants</b>
Géocycle Inc.	Pierre Geoffroy François Drouin
Sani Mobile Montréal Inc.	Langis Gamache
Centre Saint-Laurent	Francine Fortin
Menviq	Yves Lefebvre Renée Gauthier
CNRC	Gilles Bélisle
Hydro-Québec	André Bériault Henri Grandjean Luc Lafrenière

Géocycle Inc. a également bénéficié de la collaboration de professionnels à l'emploi de Sani Mobile Montréal Inc. (Gaëtan Asselin, Sylvain Rioux et Pierre Harnois) ainsi que des chimistes des laboratoires ECO-CNFS et Novalab.

**3.2.3 Support technique.** - La construction de l'unité pilote, la fourniture d'équipements et la réalisation des analyses chimiques ont été confiés à des sous-contractants dont les principaux apparaissent à la figure 3 (page 14).

**3.2.4 Industries participantes.** - Le sol contaminé utilisé pour le développement et la démonstration a été fourni principalement par Hydro-Québec, ainsi que par la compagnie S. Albert de Montréal et la Municipalité de Beaconsfield.

### 3.3 Description des opérations

**3.3.1 Caractérisation du sol contaminé.** - Pour chacun des cinq types de sol contaminé utilisés au cours du projet, une caractérisation comprenant des analyses chimiques et une étude granulométrique a été effectuée. Les résultats de la caractérisation ont permis d'identifier les contaminants présents dans le sol et d'évaluer leur concentration. Les données sur la granulométrie ont permis d'évaluer les volumes de boue générée par traitement du sol et d'ajuster les mailles des tamis de rinçage utilisés dans le procédé. Le tableau 4 présente les différents types de sol utilisé dans le cadre du projet.

**Tableau 4 Description des sols contaminés**

Type	Provenance	Volume	CONCENTRATION DE CONTAMINANTS (mg/kg)			Classification
			Huiles et graisses minérales	BPC	Composés phénoliques	
A	Hydro-Québec, Lachute	15 m <sup>3</sup>	18 000	0,17	---	> critère C
B	S. Albert, Montréal	15 m <sup>3</sup>	18 000	---	---	> critère C
B'	S. Albert, Montréal	5 m <sup>3</sup>	22 100	---	---	> critère C
C	Hydro-Québec, Lachute	5 m <sup>3</sup>	3 980	---	269	> critère C
D	Ville de Beaconsfield	5 m <sup>3</sup>	9 580	---	---	> critère C
E	Hydro-Québec, St-Canut	83 m <sup>3</sup>	11 000	0,87	---	> critère C

**3.3.2 Prélèvement des échantillons.** - Les points et fréquences de prélèvement des échantillons pendant les opérations de traitement sont présentés pour chacune des phases du projet aux chapitres correspondants.

**3.3.3 Contrôle analytique.** - L'ensemble des analyses a été réalisé par des laboratoires commerciaux en conformité avec le "Guide des méthodes de conservation et d'analyses des échantillons d'eau et de sol", 1990, QEN/SD/14/1. Un contrôle de qualité des résultats a été effectué avec la collaboration du Bureau d'accréditation des laboratoires du Ministère de l'Environnement du Québec.

Une description des méthodes analytiques utilisées ainsi que les résultats du contrôle analytique sont présentés au chapitre 8.

### 3.4 Critères de décontamination

Le présent rapport réfère aux critères de la politique de réhabilitation des terrains contaminés du Menviq. Le tableau 5 présente les valeurs de ces critères pour les différents contaminants étudiés dans le cadre du projet.

**Tableau 5 Critères de décontamination pour les sols et les eaux souterraines**

Critère	SOL (mg/kg)			EAU (ug/l)		
	A	B	C	A	B	C
Huiles et graisses minérales	100	1 000	5 000	<100	1 000	5 000
Composés phénoliques chlorés	Totaux: 0,1 Chacun: <0,1	1 0,5	10 5	1 <1	4 2	10 5
Plomb	50	200	1 000	10	50	100
Zinc	100	500	1 500	50	5 000	10 000

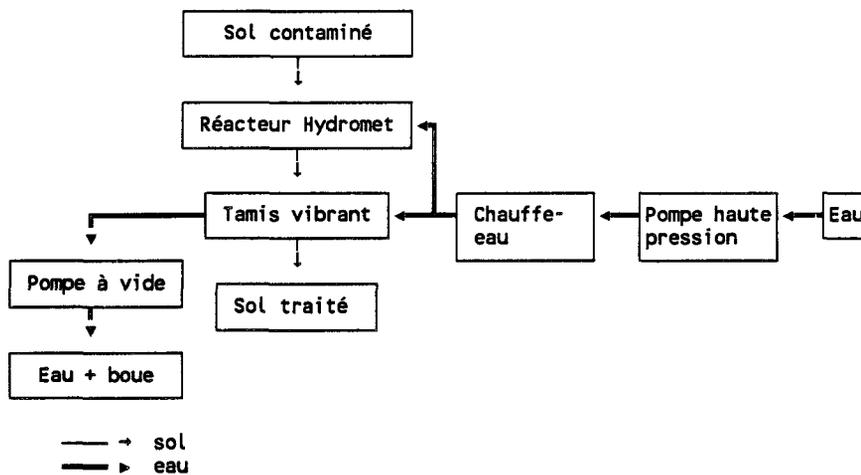
## 4 ESSAIS PRÉLIMINAIRES

### 4.1 Objectifs

Préalablement au projet de développement et de démonstration, des essais de lessivage de sol contaminé par des huiles et graisses minérales ont été effectués en laboratoire. Ces essais avaient pour but de vérifier l'efficacité de la technologie à extraire les contaminants du sol.

### 4.2 Équipements utilisés

La figure 4 présente un schéma des équipements utilisés.



**Figure 4** Équipements utilisés pour les essais préliminaires

Les essais ont été réalisés à l'aide d'un réacteur d'un diamètre de 5,08 centimètres composé de 13 paliers superposés et relié à une pompe à haute pression et un chauffe-eau. Le réacteur a été installé au-dessus d'un tamis vibrant circulaire d'une maille de 63 microns d'ouverture. Le tamis est relié à une pompe à vide permettant l'évacuation de l'eau et de la boue.

#### **4.3 Description des essais**

Les essais ont été réalisés sur des volumes de 20 litres de sol contaminé provenant d'un mélange de sable et de gravier contaminé par de l'huile à chauffage, de l'huile isolante à transformateur et de l'huile à moteur usée. Des échantillons composites du sol ont été prélevés avant et après traitement. Chaque échantillon composite est recueilli à partir d'un minimum de 10 prélèvements. Les échantillons ont été homogénéisés avant leur envoi au laboratoire.

Pour les essais de rinçage à la vapeur, un tamis d'une maille de 20 mèches (0,84 mm d'ouverture) a été utilisé.

#### **4.4 Résultats des essais préliminaires de lessivage**

Le tableau 6 présente les résultats des essais préliminaires de lessivage par réacteur Hydromet<sup>mc</sup> suivi de rinçage sur tamis vibrant.

Une première série d'essais a été effectuée en utilisant quatre paliers superposés (2 murs et 2 spins) assortis d'une pression de sept bars (échantillons 1 à 4).

Dans un deuxième temps, une pompe à haute pression plus puissante a été utilisée de façon à obtenir 55 bars de pression sur 13 paliers superposés (8 murs et 7 spins) (échantillons 5 et 6).

Une eau d'une température de 45°C a été utilisée pour les essais 1, 4, 5 et 6. Une bouilloire sous pression a été utilisée pour les essais 2 et 3 afin de travailler avec une eau à une température de 60°C.

Les essais 1 à 3 ont été réalisés en circuit fermé avec de l'eau recirculée dans le système. L'eau contaminée pompée à la base du tamis a été acheminée vers un système rudimentaire de décantation constitué de quatre barils de 205 litres chacun se déversant l'un dans l'autre en cascade. Le dernier baril alimentait en eau la pompe à haute pression. Pour les essais 4 à 6, de l'eau chaude propre provenant des installations de Sani Mobile a été utilisée.

L'eau contaminée a été pompée dans les réservoirs d'entreposage des installations de traitement d'eau de Sani Mobile.

Pour l'essai 6, un savon dégraissant (produit Sentinelle) a été ajouté à l'eau de lavage dans le but de vérifier si cet ajout pouvait améliorer l'efficacité du lavage.

Pour chaque essai, un volume de 20 litres de matériel préalablement homogénéisé a été introduit dans le réacteur. Un échantillon composite du matériel a été prélevé avant et après traitement.

Pour les échantillons 5 et 6, le matériel lavé a été réinséré dans le réacteur une deuxième et troisième fois (2 passes et 3 passes) et échantillonné après chaque passe.

**Tableau 6 Résultats d'analyses, essais préliminaires de lessivage**

# Essai	Type de matériel	N <sup>bre</sup> de paliers	Pression	T° eau	Qualité de l'eau	HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)						
						Avant traitement	Après 1 passe	% Déc.	Après 2 passes	% Déc.	Après 3 passes	% Déc.
1	Gravier	4	7 bars	45°C	Recirculée	75 000	6 296	92 %	---	---	---	---
2	Sable	4	7 bars	60°C	Recirculée (46 ppm)	114 000	3 234	97 %	---	---	---	---
3	Sable	4	7 bars	60°C	Recirculée (705 ppm)	114 000	9 125	92 %	---	---	---	---
4	Sable	4	7 bars	45°C	Propre	178 000	11 000	94 %	---	---	---	---
5	Sable	13	55 bars	45°C	Propre	36 000	4 260	88 %	1 520	96 %	890	98 %
6	Sable	13	55 bars	45°C	Propre + détergent	84 000	13 000	85 %	1 977	98 %	1 971	98 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**4.4.1 Nombre de paliers et pression de l'eau.** - En comparant les résultats de ces essais, on constate que l'augmentation du nombre de paliers et de la pression ne favorisent pas à eux seuls l'obtention de valeurs plus faibles de contaminants lors d'une première passe. La raison première se réfère à l'importance du premier stade de lavage qui favorise un taux élevé de décontamination. Le système devient rapidement saturé en huiles et graisses. Par conséquent, il est préférable d'envisager une étape de rinçage sur tamis afin d'extraire les contaminants transférés dans l'eau de lavage. L'option d'une deuxième passe dans le réacteur suivi d'un second rinçage sur tamis favorise l'obtention de valeurs plus faibles de contaminants.

**4.4.2 Température de l'eau.** - Les données illustrent bien l'importance d'une eau à température élevée lorsque l'on vise le traitement d'un sol contaminé par des huiles et graisses minérales, puisqu'elle avantage un meilleur entraînement des contaminants. Ainsi, l'emploi d'une eau très chaude nous a permis d'obtenir notre meilleur résultat (échantillon #2) avec un taux de décontamination de 97 % faisant passer l'échantillon de 114 000 mg/kg à 3234 mg/kg d'huiles et graisses minérales.

**4.4.3 Nombre de passes dans le réacteur.** - Les échantillons 5 et 6 qui ont subi plus d'un cycle de lessivage sous pression et de rinçage sur tamis affichent un taux de décontamination de 96 et 98 % après deux passes, soit une augmentation de 8 et 13 % comparativement à 88 et 85 % après une seule passe. La réduction de contaminants, à la suite d'un troisième lavage, est observée uniquement à l'échantillon 5. Les valeurs passent de 1520 à 890 mg/kg.

#### **4.5 Résultats des essais préliminaires de rinçage à la vapeur**

Le tableau 7 présente les résultats des essais de rinçage à la vapeur.

**Tableau 7 Résultats d'analyses, essais préliminaires de rinçage à la vapeur**

# Échantillon	Type de matériel	HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)								
		Avant rinçage			Après rinçage					
			30 sec.	% Déc.	1 min.	% Déc.	2 min.	% Déc.	5 min.	% Déc.
A	Gravier	13 050	---	---	330	97 %	---	---	340	97 %
B	Gravier	3 700	280	92 %	---	---	380	90 %	---	---
C	Gravier	9 200	530	94 %	---	---	190	98 %	---	---

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg  
 Critère A = 100 mg/kg

En favorisant l'extraction des contaminants transférés dans l'eau de lavage, l'étape de rinçage à la vapeur permet l'obtention d'un faible taux de contaminants dans le matériel comme en font foi les résultats. Ainsi, l'échantillon C passe de 9200 à 530 mg/kg après seulement 30 secondes de rinçage. Le même échantillon après deux minutes de rinçage ne présente plus que 190 mg/kg de contaminants, soit une diminution de l'ordre de 98 %, ce qui s'approche du critère A. L'étude des quatre paramètres précédents, appuyée par ces résultats, démontre l'importance de l'étape de rinçage dans le procédé.

#### 4.6 Conclusions préliminaires pour les essais ultérieurs

Les essais préliminaires ont permis d'identifier les principaux facteurs influençant l'efficacité de la technologie. Les résultats obtenus recommandent l'utilisation d'un nombre de paliers réduit et d'une pression restreinte pour la première phase de lessivage. Le traitement devrait être réalisé en deux étapes comprenant chacune une phase de lessivage sous pression suivi d'une phase de rinçage. L'utilisation d'une eau à une température élevée est également recommandée.

## **5 DÉVELOPPEMENT PHASE I**

### **5.1 Objectifs**

La première phase de développement avait pour but de faire la compilation de données sur les principaux contaminants retrouvés dans les sols, les flocculants et les coagulants utilisés pour le traitement de l'eau, et les détergents dégraisseurs retrouvés sur le marché.

Une première phase de construction de l'unité de lessivage des sols a été réalisée afin de procéder aux premiers essais de traitement.

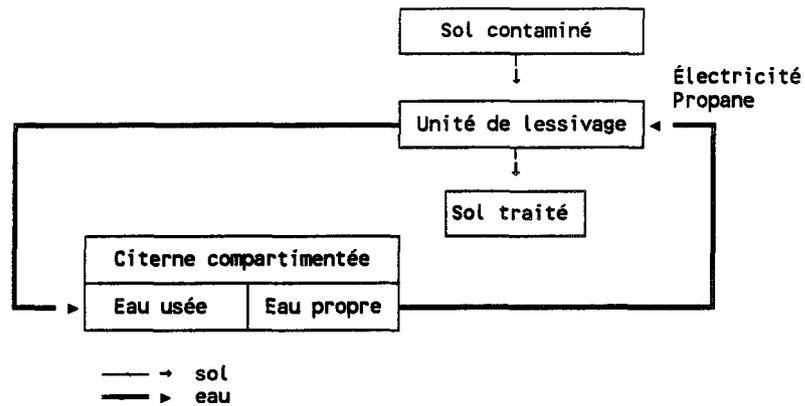
Les essais, réalisés sur deux différents types de sol contaminé, visaient l'étude de l'importance des principaux paramètres du procédé. Des essais comparatifs, à différentes températures, pressions, nombre de paliers superposés du réacteur, et nombre de phases successives de lessivage et de rinçage, ont été effectués dans le but d'évaluer l'importance de certains paramètres de traitement en fonction du type de sol traité.

### **5.2 Compilation des données existantes**

La première étape des travaux a consisté en la compilation de données sur les caractéristiques physico-chimiques des contaminants, les coagulants, les flocculants, les briseurs d'émulsion ainsi que sur les détergents dégraisseurs retrouvés sur le marché. La compilation des données recueillies est présentée à l'annexe 1 ainsi qu'à l'annexe 2.

### **5.3 Équipements utilisés**

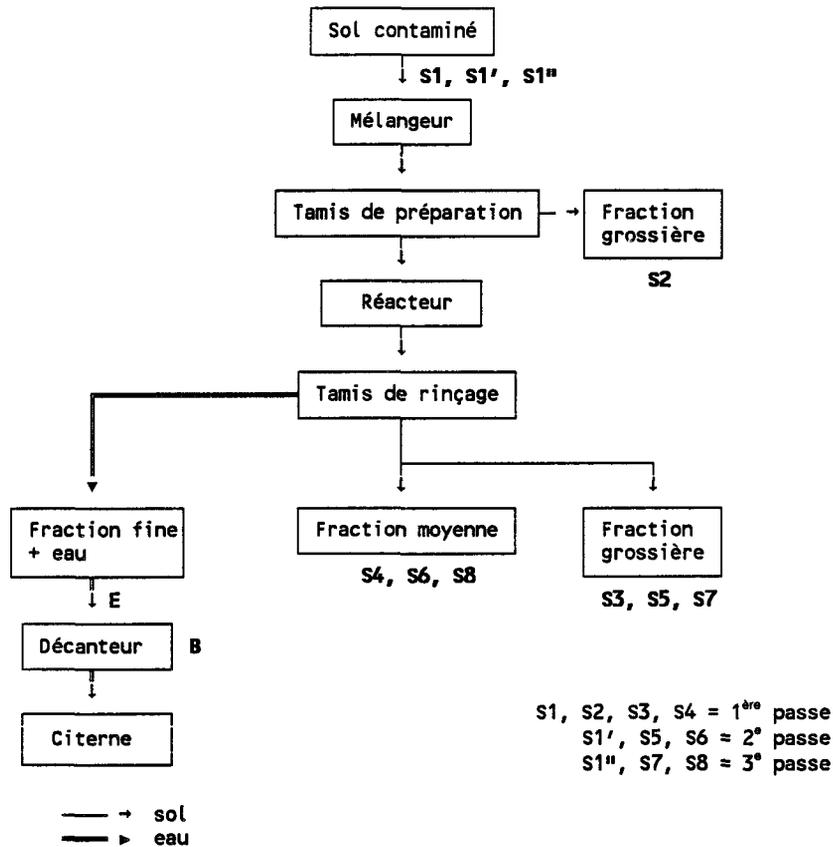
Une première phase de construction de l'unité pilote de lessivage, comprenant le mélangeur, le tamis de préparation, un réacteur Hydromet<sup>mc</sup> et un tamis de rinçage, a été réalisée. Un décanteur, formé de quatre barils de 205 litres, et une citerne compartimentée ont également été utilisés pour les essais. La figure 5 présente les équipements utilisés au cours de la première phase de développement.



**Figure 5** *Équipements utilisés, développement phase I*

#### 5.4 Prélèvement des échantillons

Les essais ont été réalisés sur des volumes de 400 litres de matériel. La figure 6 et le tableau 8 présentent les points de prélèvement des échantillons au cours des essais de traitement.



**Figure 6 Prélèvement des échantillons, développement phase I**

**Tableau 8 Prélèvement des échantillons, développement phase I**

Identification	Type d'échantillon	Point de prélèvement
S1	Sol	Entrée du mélangeur
S2	Sol	Sortie du tamis de préparation Fraction grossière
S3-S5-S7	Sol	Sortie du tamis de rinçage Fraction grossière
S4-S6-S8	Sol	Sortie du tamis de rinçage Fraction moyenne
E	Eau générée	Entrée du décanteur
B	Boue	Base du décanteur

Tous les échantillons sont composites. La fréquence de prélèvement est de 0,5 litre par minute à chaque point d'échantillonnage à l'exception des boues qui

sont échantillonnées après les essais. Les échantillons ont été homogénéisés avant leur envoi au laboratoire.

## **5.5 Caractérisation du sol contaminé**

Deux différents types de sol contaminé ont été utilisés pour les essais de traitement au cours de la première phase de développement. Ils sont identifiés type A et type B.

### **5.5.1 Sol contaminé de type A. -**

**5.5.1.1 PROVENANCE.** - Le sol contaminé de type A provient d'un poste désaffecté d'Hydro-Québec situé à Lachute. Le sol se compose de matériel fluvio-glaciaire remanié contaminé par de l'huile isolante pour transformateur suite à des déversements accidentels survenus au cours de l'opération du poste.

Une caractérisation préliminaire effectuée par Hydro-Québec indique des teneurs variant de 5000 à 15 000 mg/kg d'huiles et graisses minérales dans le sol contaminé. La teneur en BPC est inférieure à 1 mg/kg.

Un volume de 15 mètres cubes de sol contaminé a été prélevé sur le terrain. Pendant l'excavation, un volume de 300 litres d'huile isolante à transformateur a été mélangé au sol contaminé au fur et à mesure que le remplissage du conteneur progressait. Cette opération a été effectuée dans le but d'obtenir un matériel contenant une concentration plus élevée en huiles et graisses minérales comparativement aux résultats de la caractérisation préliminaire du terrain. Un échantillon composite comportant un minimum de 10 prélèvements a été recueilli et homogénéisé pour fin de caractérisation.

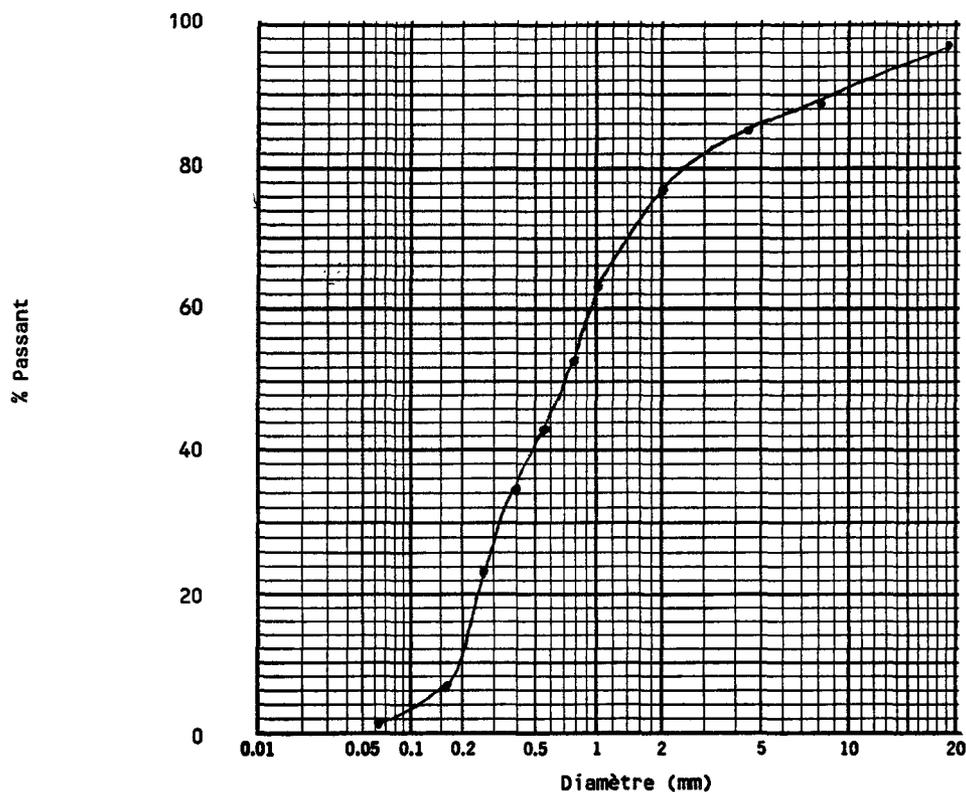
**5.5.1.2 ESSAIS DE GRANULOMÉTRIE.** - Le tableau 9 et la figure 7 présentent les résultats des essais de granulométrie effectués sur le sol contaminé de type A.

**Tableau 9 Granulométrie, sol de type A**

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
19	---	3,1*
8	2,5	8,5*
4,75	4	4,2*
2	10	6,9*
1	18	14,9*
0,71	25	10,1*
0,50	35	9,8*
0,355	45	7,5*
0,212	65	12,0*
0,150	100	16,5*
0,063	250	4,5**
0,0043	---	2,0**

\* Par tamisage  
\*\* Par sédimentation

Selon les résultats des essais de granulométrie, l'emploi d'un tamis d'une maille de 325 mèches (44 microns d'ouverture) permettrait la récupération de 98 % du matériel traité. Moins de 3 % du matériel serait éliminé au tamis de préparation.



**Figure 7** *Courbe granulométrique, sol de type A*

5.5.1.3 ANALYSES. - Le tableau 10 présente les résultats d'analyses effectuées sur le sol contaminé de type A.

**Tableau 10** *Caractérisation, sol de type A*

Huiles et graisses minérales (mg/kg)	18 000
BPC (mg/kg)	0,17

La teneur en BPC étant inférieure au critère B (1 mg/kg), seules les huiles et graisses minérales ont été analysées au cours des essais.

## **5.5.2 Sol contaminé de type B. -**

**5.5.2.1 PROVENANCE.** - Le sol contaminé de type B provient d'une excavation effectuée lors de l'enlèvement d'un réservoir souterrain sur la propriété de la compagnie S. Albert de Montréal.

Le sol, composé de sable et de concassé, a été contaminé par de l'huile à chauffage suite à une fuite du réservoir. Une caractérisation préliminaire effectuée par S. Albert indique des concentrations en huiles et graisses minérales variant de 5000 à 15 000 mg/kg dans le sol contaminé.

Un volume de 15 mètres cubes de sol contaminé a été prélevé sur le terrain. Pendant l'excavation, un volume de 300 litres d'huile à chauffage a été mélangé au sol contaminé au fur et à mesure que le remplissage du conteneur progressait. Cette opération a été effectuée dans le but d'obtenir un matériel contenant une concentration plus élevée en huiles et graisses minérales comparativement aux résultats de la caractérisation préliminaire du terrain. Un échantillon composite a été prélevé pour fin de caractérisation.

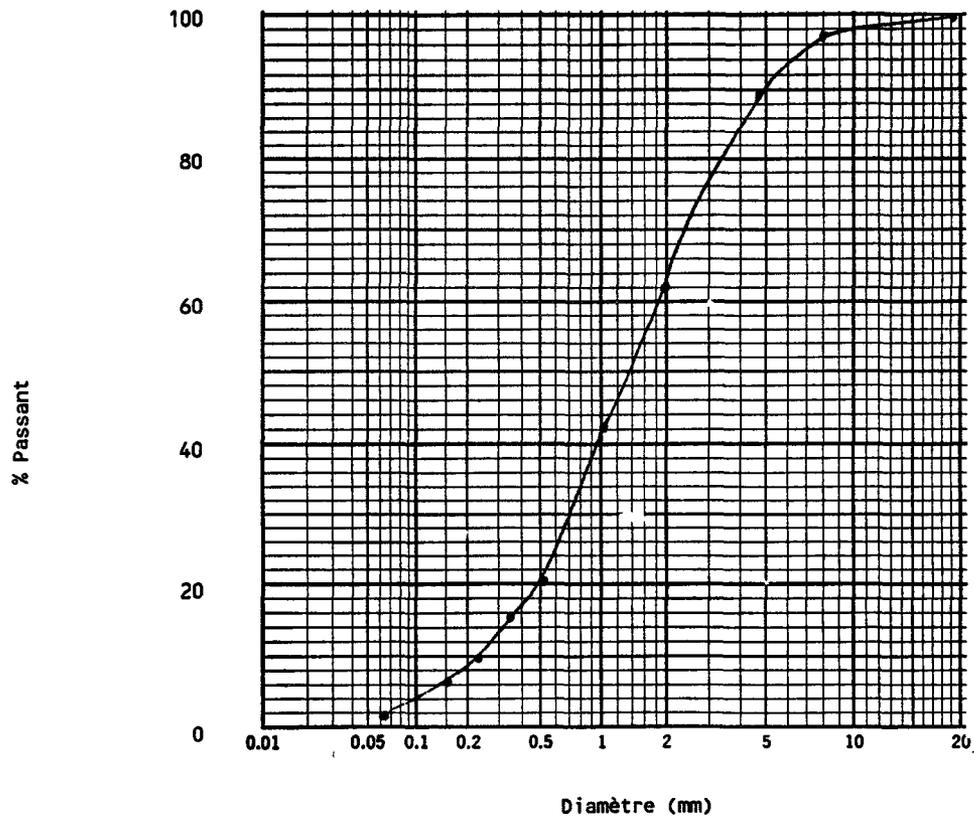
**5.5.2.2 ESSAIS DE GRANULOMÉTRIE.** - Le tableau 11 et la figure 8 présentent les résultats des essais de granulométrie effectués sur le sol contaminé de type B.

Selon les résultats des essais de granulométrie, l'utilisation d'une maille de 325 mèches (44 microns d'ouverture) permettrait la récupération de plus de 98 % du matériel traité. Aucune fraction ne serait éliminée au tamis de préparation.

**Tableau 11 Granulométrie, sol de type B**

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
19	---	0,0*
8	2,5	1,9*
4,75	4	9,3*
2	10	27,5*
1	18	19,5*
0,71	25	11,2*
0,50	35	9,1*
0,355	45	5,7*
0,212	65	6,0*
0,150	100	3,4*
0,063	250	4,4**
0,0043	---	2,0**

\* Par tamisage  
\*\* Par sédimentation

**Figure 8 Courbe granulométrique, sol de type B**

5.5.2.3 ANALYSES. - Le tableau 12 présente les résultats des analyses effectuées sur le sol contaminé de type B.

**Tableau 12 Caractérisation, sol de type B**

Huiles et graisses minérales (mg/kg)	18 000
--------------------------------------	--------

## 5.6 Essais comparatifs

La première série d'essais avait pour but la comparaison de différents modes de traitement. Des essais de tamisage à sec, à l'eau et à la vapeur ainsi que des essais de lessivage du sol avec l'utilisation d'un réacteur Hydromet<sup>mc</sup>, ont été réalisés.

Le tableau 13 présente les résultats des essais comparatifs.

Les résultats d'analyses des essais de tamisage à sec ont démontré que la concentration en huiles et graisses dans le sol est inversement proportionnelle à la granulométrie du matériel. Ainsi, les fractions fines contiennent une plus grande concentration de contaminants que les fractions plus grossières.

Les essais de rinçage à l'eau chaude et à la vapeur sur tamis démontrent que l'eau chaude donne une meilleure efficacité au traitement que la vapeur. Cette observation est probablement due à la plus grande quantité d'eau utilisée dans le rinçage à l'eau chaude, permettant l'entraînement d'une plus grande quantité d'huile et de particules fines.

De façon générale, les essais de lessivage sous pression suivi d'un rinçage à l'eau chaude sur tamis ont donné de meilleurs résultats que les essais de rinçage. Pour le sol contaminé de type A, aucune amélioration n'a été observée sur la fraction grossière. Par contre, la fraction moyenne (S4) montre une amélioration, le pourcentage de décontamination passant de 57 à 76 %. Lors de la deuxième passe, le matériel est passé sous les 2000 mg/kg d'huiles et graisses minérales. Les pourcentages de décontamination pour les fractions S3 et S4 atteignent respectivement 85 et 87 %.

**Tableau 13 Résultats des essais comparatifs**

Type d'essai	HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)									
	Sol de type A					Sol de type B				
	Avant traitement		Après traitement			Avant traitement		Après traitement		
	(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.
Tamissage à sec	18 000	8 430	53 %	24 000	-33 %	15 000	4 565	70 %	8 660	42 %
Rinçage à l'eau chaude T° eau = 65°C	13 000	4 175	68 %	5 565	57 %	15 000	1 215	92 %	4 285	71 %
Rinçage à la vapeur T° eau = 92°C	11 000	5 675	48 %	5 420	51 %	12 000	2 170	82 %	6 115	49 %
Lessivage et rinçage P° = 27,6 bars T° eau = 85°C 4 paliers	12 000	3 710	69 %	2 925	76 %	10 000	325	97 %	2 170	78 %
Lessivage et rinçage 2° passe (même conditions)	---	1 785	85 %	1 587	87 %	---	205	98 %	760	92 %
Critère C = 5 000 mg/kg Critère B = 1 000 mg/kg										

Pour le sol contaminé de type B, le lessivage a permis d'atteindre un niveau de contamination sous le critère B, l'échantillon S3 passant de 10 000 à 325 mg/kg d'huiles et graisses minérales. La fraction S4 montre également une meilleure efficacité du procédé par rapport au rinçage à l'eau chaude, le pourcentage de décontamination passant de 71 à 92 %. Une deuxième passe a permis d'atteindre un niveau de contamination sous le critère B pour les deux fractions récupérées (S3 et S4). Il faut noter que le matériel de départ contenait 10 000 mg/kg d'huiles et graisses minérales contre 15 000 mg/kg pour les essais de rinçage à l'eau chaude.

De façon générale, les résultats obtenus par lessivage sous pression suivi d'un rinçage à l'eau chaude sur tamis sont supérieurs aux résultats obtenus par simple rinçage sur tamis. La plus grande quantité d'eau utilisée a permis un meilleur entraînement des particules fines.

## **5.7 Étude des principaux paramètres d'opération**

**5.7.1 Température de l'eau.** - Quatre essais de lessivage à quatre différentes températures ont été effectués pour chacun des types de sol contaminé à une pression de 27,6 bars en utilisant un réacteur comprenant quatre paliers. Le tableau 14 présente les résultats de ces essais.

Pour le sol de type A, une augmentation du taux de décontamination a été observée à une température de 92°C pour chacune des deux fractions granulométriques de sol récupéré. Cependant, les taux élevés observés pour le quatrième essai peuvent être en partie attribuables à une plus grande concentration d'huile dans l'échantillon de sol avant traitement (19 000 mg/kg) par rapport aux trois essais précédents (12 000, 15 000 et 14 000 mg/kg).

Pour le sol de type B, on note très peu de variation sur la fraction moyenne (S4). Par contre, le troisième essai réalisé à une température de 83°C montre une amélioration du taux de décontamination pour la fraction grossière (S3) qui passe de 13 000 mg/kg d'huiles et graisses minérales avant traitement à 660 mg/kg après traitement.

**Tableau 14 Température de l'eau**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)													
Conditions d'opération				Sol de type A					Sol de type B				
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement		Après traitement			Avant traitement		Après traitement		
				(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.
1	52-57°C	27,6	4	12 000	3 345	72 %	5 765	52 %	8 100	750	91 %	2 185	73 %
2	65-67°C	27,6	4	15 000	4 890	67 %	5 815	61 %	12 000	1 365	89 %	2 605	78 %
3	82-83°C	27,6	4	14 000	4 810	66 %	4 600	67 %	13 000	660	95 %	2 945	77 %
4	92-96°C	27,6	4	19 000	3 740	80 %	4 685	75 %	14 000	930	93 %	3 215	77 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

35

Dans l'ensemble, on observe une tendance à de meilleurs résultats avec l'utilisation d'eau de lessivage à une température élevée.

**5.7.2 Nombre de paliers, première passe.** - La deuxième série d'essais visait la variation du nombre de paliers superposés dans le réacteur. Les essais ont été effectués à une pression de 27,6 bars et à des températures moyennes de 92 et 84°C pour les sols de type A et B respectivement. Le tableau 15 présente les résultats de ces essais.

Pour le sol contaminé de type A, on note un accroissement progressif du taux de décontamination en passant de quatre à huit paliers de lessivage sur la fraction grossière de matériel (S3) lors d'une première passe dans le réacteur. Une moins bonne efficacité est observée avec l'utilisation de 10 paliers. Pour la fraction moyenne (S4), la variation des résultats est moins marquée. Les taux de décontamination varient entre 75 et 82 % pour les essais à quatre, six et huit paliers.

Dans le cas du sol contaminé de type B, on observe un accroissement progressif de l'efficacité du réacteur en passant de quatre à huit paliers. Aucune amélioration n'est observée avec l'utilisation de 10 paliers.

**Tableau 15 Nombre de paliers, première passe**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)													
Conditions d'opération				Sol de type A				Sol de type B					
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement (S1)	Après traitement			Avant traitement (S1)	Après traitement				
					Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)		% Déc.	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.
1	<u>91°C</u> 84°C	27,6	4	18 000	8 390	53 %	3 275	82 %	18 000	1 870	90 %	6 450	64 %
2	<u>92°C</u> 84°C	27,6	6	15 000	4 210	72 %	3 810	75 %	18 000	1 760	90 %	4 715	74 %
3	<u>91°C</u> 85°C	27,6	8	22 000	3 445	84 %	4 705	79 %	14 000	870	94 %	2 380	83 %
4	<u>92°C</u> 83°C	27,6	10	16 000	6 770	58 %	4 545	72 %	14 000	840	94 %	2 760	80 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
Critère B = 1 000 mg/kg

**5.7.3 Pression de l'eau, première passe.** - La série d'essais suivante avait pour but la variation de la pression de l'eau de lessivage au niveau du réacteur. Ces essais ont été effectués en utilisant un réacteur muni de huit paliers et à des températures moyennes de 92 et 83°C pour les sols de type A et B respectivement. Les résultats sont présentés au tableau 16.

Dans le cas du matériel de type A, on note une moins bonne efficacité du traitement à une pression de 13,8 bars. De 27,6 à 55,2 bars, les résultats donnent des taux de décontamination comparables pour les deux fractions de sol analysé (S3 et S4).

Pour le sol contaminé de type B, les résultats donnent des taux de décontamination identiques à toutes les pressions expérimentées pour les fractions S3 et S4, à l'exception du quatrième essai réalisé à une pression de 55,2 bars où on observe un accroissement de 5 % du taux de décontamination de la fraction moyenne (S4) par rapport aux autres essais.

**Tableau 16 Pression de l'eau, première passe**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)													
Conditions d'opération				Sol de type A				Sol de type B					
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement	Après traitement				Avant traitement	Après traitement			
					Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.		Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.
	Sol A Sol B			(S1)				(S1)					
1	91°C 83°C	13,8	8	13 000	4 435	66 %	4 440	66 %	18 000	570	97 %	2 840	84 %
2	92°C 82°C	27,6	8	20 000	3 800	81 %	4 290	79 %	14 000	320	98 %	2 265	84 %
3	92°C 83°C	41,4	8	16 000	2 640	83 %	3 530	78 %	15 000	460	97 %	2 265	85 %
4	92°C 83°C	55,2	8	17 000	2 785	84 %	3 590	79 %	15 000	460	97 %	1 460	90 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**5.7.4 Nombre de paliers, deuxième passe.** - La série d'essais suivante consistait en la variation du nombre de paliers superposés au cours d'un deuxième lessivage du matériel par le procédé. Pour la première passe du matériel, les conditions d'opération sont demeurées constantes avec un réacteur comprenant huit paliers, une pression de 27,6 bars et des températures moyennes de 91 et de 84°C pour les sols de type A et B respectivement. Pour la deuxième passe, chacune des deux fractions granulométriques a été traitées séparément par le procédé. Les tableaux 17 et 18 présentent les résultats de ces essais.

Pour les essais sur la variation du nombre de paliers du réacteur lors d'une deuxième passe dans le réacteur, les résultats d'analyses sur le sol contaminé de type A avant traitement sont de 16 000 et 18 000 mg/kg en huiles et graisses minérales pour les essais à quatre et six paliers contre 28 000 et 26 000 mg/kg pour les essais à huit et dix paliers. Ces données expliquent les plus fortes teneurs en huiles et graisses minérales dans les fractions de sol récupéré pour les deux derniers essais.

On note que, à l'exception du résultat sur la fraction grossière pour le troisième essai, l'augmentation du pourcentage de décontamination après une deuxième passe varie de 11 à 17 % pour la fraction grossière (S5) et de 7 à 12 % pour la fraction moyenne (S6).

Dans le cas du matériel de type B, les essais sur la variation du nombre de paliers du réacteur lors d'une deuxième passe montrent peu de variation dans les résultats. L'amélioration est plus marquée pour la fraction moyenne (S6), avec un accroissement du taux de décontamination variant de 7 à 10 %. Le meilleur résultat a été observé avec un réacteur à huit paliers, la fraction moyenne (S6) atteignant 1190 mg/kg d'huiles et graisses minérales après une deuxième passe.

**Tableau 17 Nombre de paliers, deuxième passe, sol de type A**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)												
Conditions d'opération				Première passe				Deuxième passe				
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement  (S1)	Après traitement				Après traitement			
					Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	Fraction grossière (S5)	% Déc.	Fraction moyenne (S6)	% Déc.
1	92°C	27,6	4	16 000	4 905	69 %	3 970	75 %	2 765	83 %	2 925	82 %
2	91°C	27,6	6	18 000	6 370	65 %	4 570	75 %	3 225	82 %	3 315	82 %
3	93°C	27,6	8	28 000	5 025	82 %	6 385	77 %	5 870	79 %	4 160	85 %
4	90°C	27,6	10	26 000	8 465	67 %	9 630	63 %	5 845	78 %	6 565	75 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
Critère B = 1 000 mg/kg

**Tableau 18 Nombre de paliers, deuxième passe, sol de type B**

Conditions d'opération				HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)								
				Première passe					Deuxième passe			
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement	Après traitement				Après traitement			
				(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	Fraction grossière (S5)	% Déc.	Fraction moyenne (S6)	% Déc.
1	84°C	27,6	4	14 000	1 885	87 %	2 665	81 %	775	95 %	1 615	88 %
2	83°C	27,6	6	15 000	1 080	93 %	2 485	83 %	1 310	83 %	1 295	91 %
3	84°C	27,6	8	13 000	950	93 %	2 490	81 %	740	94 %	1 190	91 %
4	84°C	27,6	10	14 000	890	94 %	2 430	83 %	715	95 %	1 340	90 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**5.7.5 Pression de l'eau, deuxième passe.** - Une dernière série d'essais avait pour but d'évaluer la variation de la pression de l'eau au cours d'une deuxième phase de lessivage. Pour le premier lessivage, les conditions des essais précédents ont été maintenues. Pour la deuxième passe du matériel, chacune des deux fractions granulométriques ont été traitées séparément par le procédé. Les tableaux 19 et 20 présentent les résultats de ces essais.

Comme pour les essais sur la variation du nombre de paliers du réacteur, la fluctuation de la teneur en huiles et graisses minérales du sol contaminé de type A avant traitement rend difficile l'interprétation des résultats d'analyses obtenus sur les fractions de sol lessivé. Le meilleur résultat a été obtenu à une pression de 27,6 bars à partir de sol contenant 20 000 mg/kg d'huiles et graisses minérales (deuxième essai). On note cependant que les essais à des pressions d'eau plus élevées (41,4 bars) ont permis d'accroître de 18 à 20 % le taux de décontamination de la fraction moyenne (S6).

Pour les essais sur le sol contaminé de type B, l'effet de la variation de la pression de l'eau ne semble avoir aucune incidence sur l'amélioration de l'efficacité de la décontamination.

**Tableau 19 Pression de l'eau, deuxième passe, sol de type A**

Conditions d'opération				HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)								
				Première passe			Deuxième passe					
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N° de paliers	Avant traitement		Après traitement			Après traitement			
				(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	Fraction grossière (S5)	% Déc.	Fraction moyenne (S6)	% Déc.
1	93°C	13,8	8	23 000	4 620	80 %	6 520	72 %	3 725	84 %	3 390	85 %
2	93°C	27,6	8	20 000	4 290	79 %	4 050	80 %	1 920	90 %	2 540	87 %
3	92°C	41,4	8	27 000	3 515	87 %	8 215	70 %	3 470	87 %	3 245	88 %
4	93°C	55,2	8	24 000	7 660	68 %	10 000	58 %	5 685	76 %	5 215	78 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**Tableau 20 Pression de l'eau, deuxième passe, sol de type B**

Conditions d'opération				HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)								
				Première passe				Deuxième passe				
# Essai	T° eau	Pression (bars)	N <sup>bre</sup> de paliers	Avant traitement	Après traitement			Après traitement				
				(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	Fraction grossière (S5)	% Déc.	Fraction moyenne (S6)	% Déc.
1	90°C	13,8	8	14 000	500	96 %	1 370	90 %	665	95 %	1 020	93 %
2	89°C	27,6	8	13 000	925	93 %	2 260	83 %	475	96 %	1 100	92 %
3	88°C	41,4	8	15 000	820	95 %	1 640	89 %	630	96 %	1 090	93 %
4	88°C	55,2	8	14 000	715	95 %	1 725	88 %	720	95 %	1 185	92 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**5.7.6 Paramètres d'opération influençant l'efficacité du traitement.** - Les résultats des essais de traitement réalisés ont démontré que la température de l'eau et la réalisation d'une deuxième phase de lessivage et de rinçage du matériel sont les principaux facteurs influençant l'efficacité du procédé de traitement. La variation de la pression de l'eau et du nombre de paliers superposés dans le réacteur semblent être des facteurs de moindre importance pour la première étape de lessivage.

Le tableau 21 présente les moyennes des taux de décontamination pour les différents essais réalisés.

**Tableau 21 Efficacité du traitement**

Fraction	Essais	% Décontamination (moyenne)	
		Sol de type A	Sol de type B
Fraction S3 (première passe)	Tous les essais	73 %	94 %
	Essais à 27,6 bars, 8 paliers	76 %	94 %
Fraction S4 (première passe)	Tous les essais	72 %	81 %
	Essais à 27,6 bars, 8 paliers	73 %	83 %
Fraction S5 (deuxième passe)	Tous les essais	82 %	94 %
	Moyenne 1 <sup>ère</sup> passe (S3)	75 %	93 %
	Augmentation, 2 <sup>e</sup> passe	+7 %	+1 %
Fraction S6 (deuxième passe)	Tous les essais	83 %	91 %
	Moyenne 1 <sup>ère</sup> passe (S4)	71 %	85 %
	Augmentation, 2 <sup>e</sup> passe	+12 %	+6 %

Pour les essais réalisés à une pression de 27,6 bars et avec l'utilisation d'un réacteur comprenant huit paliers, les taux moyens de décontamination pour le sol contaminé de type A, après une passe, sont de 76 % pour la fraction grossière (S3) et de 73 % pour la fraction moyenne (S4). Pour le sol contaminé de type B, des taux moyens de 94 % pour la fraction grossière (S3) et de 83 % pour la fraction moyenne (S4) sont observés.

Après une deuxième passe du matériel, on observe une augmentation du taux de décontamination de 7 % pour la fraction grossière (S5) et de 12 % pour la fraction moyenne (S6) pour le sol contaminé de type A. Pour le sol de type B, on

observe un accroissement du taux de décontamination de 1 % pour la fraction grossière (S5) et de 6 % pour la fraction moyenne (S6) après une deuxième passe.

## **5.8 Utilisation de détergents**

**5.8.1 Essais en laboratoire.** - Préalablement aux essais de lessivage de sol avec ajout de détergent, des essais de coagulation d'eau usée contenant différents types de détergent ont été réalisés en laboratoire.

Les eaux générées par le procédé, au cours des essais, contenaient de 15 à 20 % de solide. Ces eaux étaient contaminées par de l'huile à transformateur et de l'huile à chauffage. Le pH variait entre 6,77 et 7,21.

Pour les essais de flocculants dans l'eau ne contenant pas de détergent, le dosage optimum était de 0,8 cc/l pour le sulfate d'aluminium et de 0,6 cc/l pour le chlorure ferrique.

Le tableau 22 présente les données recueillies lors des essais de détergents en laboratoire.

Le choix des détergents recommandés pour les essais a été effectué selon les critères suivants:

1. Ne nuit pas à la coagulation des particules;
2. Ne nuit pas à la floculation;
3. Ne freine pas la décantation.

**Tableau 22 Essais de détergents en laboratoire**

Fabricant	Nom du produit	pH détergent	Dosage détergent	pH eau + détergent	Dosage coagulant		Barème *	Remarques
					Sulfate d'aluminium cc/500 ml	Chlorure ferrique cc/500 ml		
Cartier Chemical Ltd	Autoscrub 70	13	1:100	10,03	0,3	0,3	2	
Cartier Chemical Ltd	Autoscrub 601D	13	1:100	9,80	0,3	0,3	2	
Cartier Chemical Ltd	Autoscrub NB	8,5	1:100	8,09	0,3	0,3	1	
Cartier Chemical Ltd	Carchem 400	7	1:100	6,65	0,3	0,3	3	Meilleure coagulation et décantation avec le chlorure ferrique
Cartier Chemical Ltd	Carchem 800	7	1:100	7,00	0,4	0,4	3	Faible turbidité avec l'alun Moyenne décantation avec le chlorure ferrique
Cartier Chemical Ltd	Carchem 1 000	7	1:100	6,89	0,4	0,4	4	Résultat comparable avec eau sans détergent
Cartier Chemical Ltd	Carchem 783	13	1:100	10,70	0,3	0,3	2	
Cartier Chemical Ltd	Rapide 700N	10,5	1:100	8,60	0,3	0,3	1	Apparition d'une couleur blanchâtre Incompatible avec les deux coagulants
Cartier Chemical Ltd	Vit-Rapide 900	10,5	1:100	8,80	0,3	0,3	1	
Produits chimiques Desco	DE-473	6	1:100	6,93	0,3	0,3	4	Meilleure coagulation et floculation avec le sulfate d'aluminium
Produits chimiques Desco	DE-476	6,5	1:100	6,85	0,3	0,3	4	Aucune décantation, les flocons flottent à la surface de l'eau
Produits chimiques Desco	DE-9750 Citrosolv	5,5	1:100	6,81	0,3	0,6	4	Bonne floculation et décantation rapide Aucune couleur dans le surnageant

48

\*Barème: 1. Aucune coagulation    2. Faible coagulation    3. Moyenne coagulation    4. Bonne coagulation

**Tableau 22 (suite)**

**Essais de détergents en laboratoire**

Fabricant	Nom du produit	pH détergent	Dosage détergent	pH eau + détergent	Dosage coagulant		Barème *	Remarques
					Sulfate d'aluminium cc/500 ml	Chlorure ferrique cc/500 ml		
Diversy Inc.	BR 707	1	1:100	5,86	0,3	Incompatible	2	Aucune floculation, décantation freinée et surnageant coloré
		1	1:1000	6,77	0,3	Incompatible	2	
Lalema Inc.	Biokleen	7	1:100	7,05	0,4	0,4	1	Couleur blanchâtre dans le surnageant
		7	1:1000	6,91	0,4	0,4	3	
Lalema Inc.	CAP	7	1:100	6,85	0,3	Incompatible	1	Forte turbidité
Lalema Inc.	CAD	7	1:100	6,98	0,3	Incompatible	1	
Lalema Inc.	O-500	10,4	1:100	7,38	0,4	0,4	1	Empêche toute coagulation
Sentinelle Canada	Formula 2 000	1	1:100	1,81	0,6	0,3	2	Faible floculation et aucune décantation
Sentinelle Canada	Lift	13	1:100	10,50	0,3	0,3	2	Formation de microflocons
Sentinelle Canada	Premier	12,5	1:100	10,70	0,3	0,3	3	Faible couleur verdâtre dans le surnageant, bonne floculation et décantation
Sentinelle Canada	Sentipro	13	1:100	11,01	0,3	0,3	1	Nuit à la coagulation
Sentinelle Canada	Senti spray 101	12,5	1:100	11,09	0,3	0,6	1	Mousse beaucoup, empêche la coagulation
West Penetone	Citrikleen	11,5	1:100	9,16	0,3	0,3	1	

\*Barème: 1. Aucune coagulation    2. Faible coagulation    3. Moyenne coagulation    4. Bonne coagulation

**5.8.2 Essais de lessivage.** - Suite aux essais effectués en laboratoire, trois détergents présentés au tableau 23 ont été choisis pour les essais de lessivage.

**Tableau 23 Choix des détergents**

# Essai	Fabricant	TYPE DE DÉTERGENT		
		Nom du produit	Ingrédient actif répertorié	Dosage
1	Cartier Chemical Ltd	Carchem 800	Solvant aliphatique	2 litres/essai
2	Sentinelle Canada	Premier	Métasilicate de sodium EDTA	2 litres/essai
3	Produits chimiques Desco Inc.	De-9750 Citrosolv	D-Limonene Éther monométhylque diéthylène glycol	2 litres/essai

**Conditions d'opération:**  
 8 paliers  
 Pression = 27,6 bars  
 T° eau = 91-93°C (sol A)  
 88-89°C (sol B)

Le tableau 24 présente les résultats des essais de lessivage avec ajout de détergent. Le détergent a été ajouté au sol contaminé quelques minutes avant son introduction dans le mélangeur.

En comparant les résultats obtenus avec ceux des tableaux 19 et 20, on observe que les résultats des essais de lessivage avec l'utilisation de détergent n'ont pas montré d'amélioration de l'efficacité par rapport aux résultats obtenus sans ajout de détergent. Ces résultats peuvent s'expliquer en partie par un temps de contact trop restreint entre le détergent et le sol.

**Tableau 24 Essais de lessivage avec détergent**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)										
# Essai	Sol de type A					Sol de type B				
	Avant traitement		Après traitement			Avant traitement		Après traitement		
	(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.	(S1)	Fraction grossière (S3)	% Déc.	Fraction moyenne (S4)	% Déc.
1	16 000	3 805	76 %	3 965	79 %	16 000	770	95 %	3 850	76 %
2	19 000	5 975	69 %	5 765	70 %	16 000	790	95 %	2 600	84 %
3	23 000	4 250	82 %	6 925	70 %	15 000	405	97 %	3 450	79 %

Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

## 5.9 Essais de couplage

Suite aux ajustements des différents paramètres d'opération, des essais de couplage, consistant en plusieurs passes successives du matériel dans l'unité de traitement, ont été réalisés. Le tableau 25 présente les résultats de ces essais.

**Tableau 25 Essais de couplage**

Nombre de passes	Pourcentage de décontamination*					
	Sol contaminé de type A			Sol contaminé de type B		
	Fraction grossière	Fraction moyenne	TOTAL	Fraction grossière	Fraction moyenne	TOTAL
Après 1 passe	84 %	72 %	75 %	96 %	81 %	90 %
Après 2 passes	89 %	85 %	85 %	96 %	91 %	94 %
Après 3 passes	92 %	87 %	87 %	95 %	92,5 %	95 %
Après 4 passes	---	88 %	88 %	---	93 %	94 %
Amélioration 2 <sup>e</sup> passe	+5 %	+13 %	+10 %	0 %	+10 %	+4 %
Amélioration 3 <sup>e</sup> passe	+3 %	+2 %	+2 %	-1 %	+1,5 %	+1 %
Amélioration 4 <sup>e</sup> passe	---	+1 %	+1 %	---	+0,5 %	-1 %

\* Moyenne des 3 essais

Pour le sol contaminé de type A, une deuxième passe dans le procédé a permis d'augmenter le taux de décontamination de 10 % sur l'ensemble du volume traité. L'amélioration est plus marquée sur la fraction moyenne avec une augmentation de 13 % du taux de décontamination contre 5 % pour la fraction grossière. On observe une faible augmentation du taux de décontamination de 2 et 1 % respectivement pour la troisième et quatrième passe.

Pour le sol contaminé de type B, on observe aucune amélioration de la fraction grossière après plusieurs passes successives. Pour la fraction moyenne, une augmentation moyenne de 10 % du taux de décontamination après une deuxième passe est observée. Une faible amélioration de 1,5 et 0,5 % a été observée après la troisième et quatrième passe respectivement.

Bien que certaines tendances sont observées, il faut tenir compte de la variabilité des résultats d'analyses et que l'efficacité est basée sur la concentration initiale de contaminant dans l'ensemble du matériel traité.

#### **5.10 Recommandations pour la deuxième phase de développement**

Pour les essais ultérieurs, il est recommandé d'effectuer le traitement en deux phases successives de lessivage et de rinçage sur tamis.

La réduction de la maille du tamis de préparation de 1,91 à 1,27 centimètre permet d'augmenter la proportion de la fraction grossière traitée par rinçage (S2) et d'éliminer le blocage du réacteur par les débris.

L'augmentation de la surface du tamis de rinçage #1 est recommandée de façon à rejoindre les objectifs de production de deux tonnes métriques à l'heure. Une plus grande surface permettra un rinçage plus efficace de la fraction moyenne et limitera la surcharge de l'étage inférieur lors de l'utilisation d'une maille plus grande à l'étage supérieur du tamis.

L'installation d'une pompe développant une pression de 140 bars pour alimenter le réacteur #2 est recommandée de façon à optimiser l'efficacité du lessivage sur la fraction moyenne (S4) lors de la deuxième passe du matériel dans le procédé.

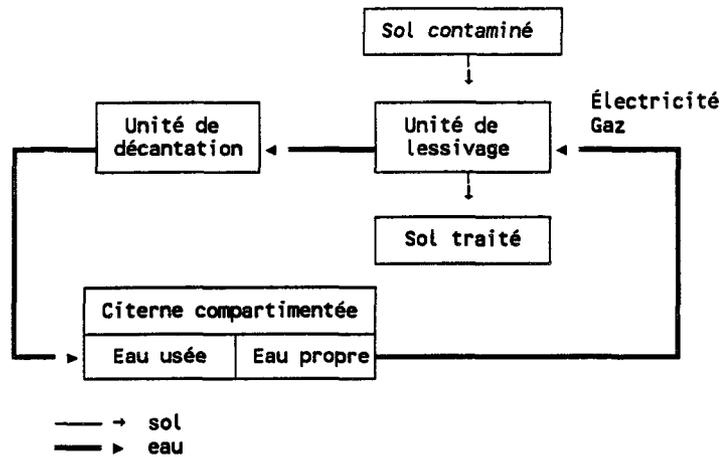
## **6 DÉVELOPPEMENT PHASE II**

### **6.1 Objectifs**

La deuxième phase de développement du projet vise la construction d'un deuxième réacteur et d'un deuxième tamis de rinçage, suivi du traitement de trois différents types de sol contaminé, dont un type déjà expérimenté au cours des étapes précédentes. Cette étape a pour but de vérifier les performances d'un procédé comportant deux cycles de lessivage sous pression et de rinçage sur tamis. Les objectifs sont la comparaison des résultats obtenus avec les essais réalisés précédemment et l'accumulation de données sur d'autres types de sol et de contaminants. Ces essais visent l'évaluation de l'efficacité du procédé, des limites de décontamination, de la capacité de production et des volumes de résidu généré. Ces données sont évaluées en fonction du type de sol et du type de contaminant pour trois différents types de sol. Des essais de traitabilité de l'eau et de centrifugation des boues ont également été réalisés au cours de cette étape de développement dans le but de mettre au point un système de traitement des effluents et de recirculation de l'eau dans le procédé.

### **6.2 Équipements utilisés**

Suite à la première phase de développement, une deuxième phase de construction a été entreprise. Cette étape a consisté en l'ajout d'un deuxième réacteur et d'un deuxième tamis de rinçage permettant de réaliser deux cycles de lessivage et rinçage sur le matériel traité. Des capteurs de vapeur et un condensateur ont également été installés sur l'unité de traitement des sols. La figure 9 présente un schéma des équipements utilisés pour les essais.



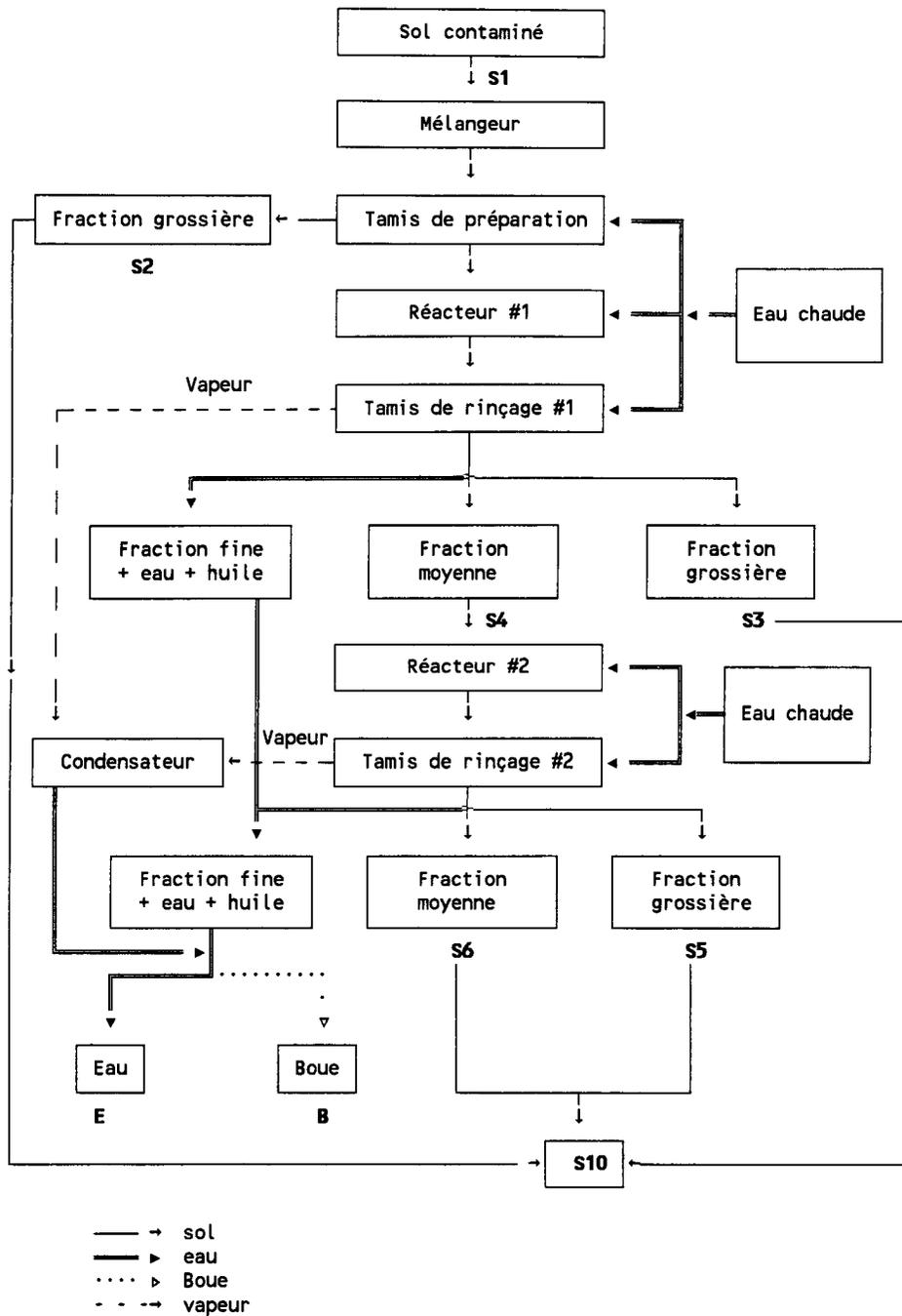
**Figure 9 Équipements utilisés, développement phase II**

Une unité de décantation de type lamellaire a été utilisée afin d'optimiser la récupération des boues générées par le procédé. Une citerne d'entreposage a été utilisée pour l'eau usée. Le sol contaminé et le sol traité ont été entreposés dans des conteneurs étanches.

### 6.3 Prélèvement des échantillons

La figure 10 et le tableau 26 présentent les points de prélèvement des échantillons.

Tous les échantillons, à l'exception de la vapeur, sont composites. Les échantillons d'eau et de sol sont prélevés à une fréquence de 0,5 litre aux 2,5 minutes pendant les essais. Les échantillons composites ont été homogénéisés avant leur envoi au laboratoire.



**Figure 10 Prélèvement des échantillons, développement phase II**

**Tableau 26 Prélèvement des échantillons, développement phase II**

Identification	Description	Point de prélèvement
S1	Sol avant traitement	Entrée du mélangeur
S2	Sol rincé, fraction très grossière (>1,27 cm)	Sortie du tamis de préparation, étage supérieur
S3	Sol lessivé, fraction grossière, première passe	Sortie du tamis de rinçage #1, étage supérieur
S4	Sol lessivé, fraction moyenne, première passe	Sortie du tamis de rinçage #1, étage inférieur
S5	Sol lessivé, fraction grossière, deuxième passe	Sortie du tamis de rinçage #2, étage supérieur
S6	Sol lessivé, fraction moyenne, deuxième passe	Sortie du tamis de rinçage #2, étage inférieur
S10	Sol traité, ensemble des fractions	Sortie du convoyeur #2
E	Eau générée par le procédé	Citerne d'entreposage
B	Boue (fraction fine)	Base du décanteur
V	Vapeur	Au-dessus du tamis de rinçage #1

#### 6.4 Sol contaminé de type B'

**6.4.1 Provenance.** - Le sol contaminé de type B' provient du même site que le sol de type B traité au cours de la première phase de développement. Ce matériel a été choisi dans le but de comparer les résultats obtenus après la deuxième phase de construction de l'unité avec ceux obtenus précédemment.

Un volume de 100 litres d'huile à chauffage a été ajouté au sol déjà contaminé de façon à retrouver les mêmes conditions et caractéristiques du matériel qu'au cours des essais de la première phase de développement.

#### 6.4.2 Caractérisation. -

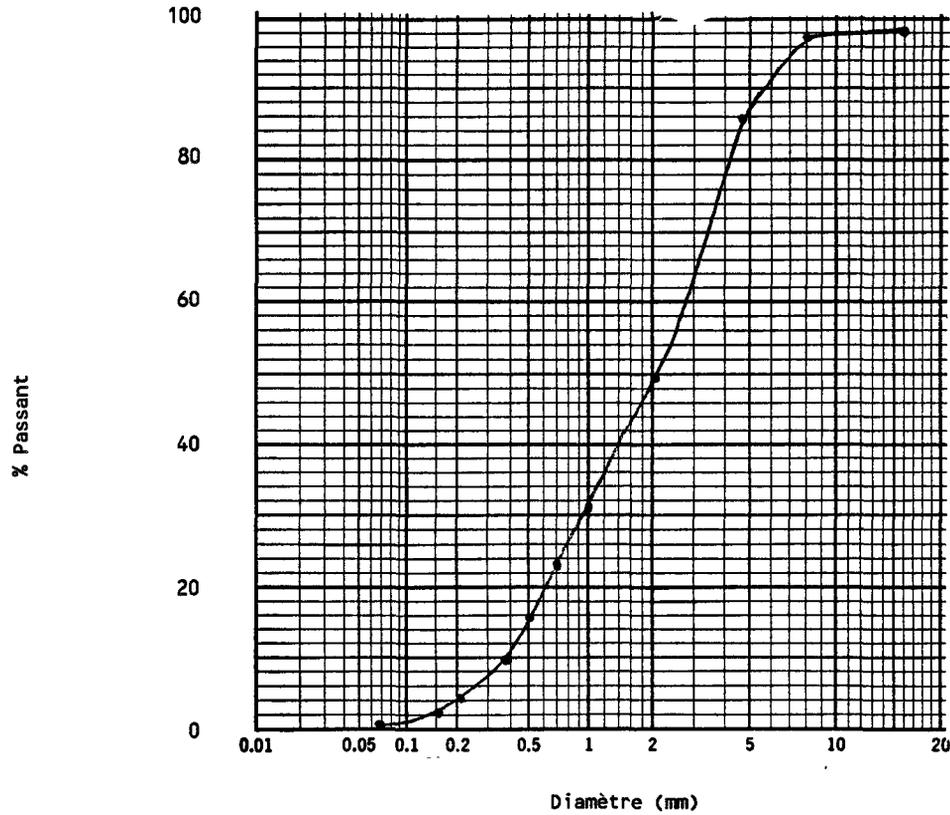
**6.4.2.1 ESSAIS DE GRANULOMÉTRIE.** - Le tableau 27 et la figure 11 présentent les résultats des essais de granulométrie réalisés sur le sol contaminé de type B'.

**Tableau 27 Granulométrie, sol de type B'**

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
16	---	2,0*
8	2,5	1,2*
4,75	4	11,6*
2	10	35,5*
1	18	18,4*
0,71	25	7,7*
0,50	32	7,5*
0,355	45	6,1*
0,212	65	5,8*
0,150	100	2,5*
0,063	250	1,2**
0,0043	---	0,5**

\* Par tamisage

\*\* Par sédimentation

**Figure 11 Courbe granulométrique, sol de type B'**

Selon les résultats de la granulométrie effectuée en laboratoire, l'utilisation d'une maille de 325 mèches permettrait la récupération de 99,5 % du matériel traité. Moins de 2 % du matériel serait éliminé au tamis de préparation.

**6.4.2.2 ANALYSES.** - Le tableau 28 présente les résultats des analyses effectuées sur l'échantillon de sol du type B'. Des analyses ont été effectuées sur l'ensemble de l'échantillon ainsi que pour chacune des fractions inférieures et supérieures à deux millimètres (mm).

Le bilan de masse réalisé sur l'échantillon tamisé en laboratoire donne un rendement de récupération des contaminants de 77 % pour les huiles et graisses minérales.

**Tableau 28 Caractérisation, sol de type B'**

	Ensemble de l'échantillon	Fraction > 2 mm	Fraction < 2 mm	BILAN	
				Total	Rendement
Huiles et graisses minérales (mg/kg)	22 100	8 060	25 650	---	---
Poids humide (g)	1 274,4	672,4	586,7	---	---
% Eau	4 %	2 %	4 %	---	---
Poids sec (g)	1 223,4	659,0	563,2	1 222,2	99,9 %
Huiles et graisses minérales (mg)	25 814	5 311	14 447	19 758	77 %

**6.4.3 Conditions d'opération.** - Le tableau 29 présente les conditions d'opération des trois essais de traitement réalisés sur le sol contaminé de type B'.

Pour chacun des trois essais, une maille de 3,2 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du tamis de rinçage #1. La fraction grossière (>3,2 mm) a été extraite du procédé après le premier stade de lavage. Une maille de 1,6 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du tamis de rinçage #2.

**Tableau 29 Conditions d'opération, sol de type B'**

# Essai	Premier essai	Deuxième essai	Troisième essai
Pression du réacteur #1	27,6 bars	34,5 bars	41,4 bars
Pression du réacteur #2	51,7 bars	69,0 bars	82,8 bars
T° du réacteur #1	92°C	93°C	96°C
T° du réacteur #2	80°C	94°C	94°C
T° du rinçage	92°C	90°C	93°C
Tamis de préparation	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	3,2 mm †	3,2 mm †	3,2 mm †
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ

† Indique l'extraction du procédé de la fraction S3 après le premier stade de lessivage

**6.4.4 Résultats d'analyses.** - Le tableau 30 présente les résultats d'analyses obtenus au cours des essais de lessivage du sol contaminé de type B'.

**Tableau 30 Résultats d'analyses, sol de type B'**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES						
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai	
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.
S1	15 000	---	20 000	---	17 000	---
S2	200	99 %	720	96 %	490	97 %
S3	1 230	92 %	1 600	92 %	760	96 %
S4	2 250	85 %	3 035	85 %	1 960	88 %
S5	1 480	90 %	1 530	92 %	1 050	94 %
S6	2 000	87 %	1 730	91 %	1 655	90 %
S10	1 630	89 %	1 810	91 %	1 450	91 %
E	260*	---	29*	---	54*	---
B	70 000	-367 %	61 000	-205 %	56 000	-229 %
Volume de sol traité	1 500 l		1 500 l		1 500 l	
Temps d'alimentation	78 min.		59 min.		102 min.	
Capacité de production	1,15 m <sup>3</sup> /h		1,53 m <sup>3</sup> /h		0,88 m <sup>3</sup> /h	
% Volume, sol récupéré	81,3 %		83,7 %		82,5 %	
% Poids, sol récupéré (base sèche)	81,3 %		84,7 %		92,3 %	
* mg/l						
Critère C = 5 000 mg/kg						
Critère B = 1 000 mg/kg						

#### 6.4.5 Efficacité du traitement. -

6.4.5.1 GRANULOMÉTRIE DU MATÉRIEL. - Bien que la courbe granulométrique du matériel de type B' est semblable à celle obtenue sur le sol de type B lors de la caractérisation de la première phase de développement, les données sur les volumes récupérés indiquent une perte de volume importante après le passage du matériel dans l'unité de traitement. Une moyenne de 82,5 % du volume de sol traité a été récupéré comparativement à 104 % pour les essais réalisés au cours de la première phase de développement et avec du matériel ayant la même origine.

Ces résultats sont dus à la présence d'une grande proportion de matériel de fine granulométrie dans le sol. La présence d'huile causant l'agglomération des

particules est probablement responsable des résultats non représentatifs obtenus lors des essais de tamisage en laboratoire.

**6.4.5.2 FRACTION S2.** - Les résultats d'analyses obtenus sur la fraction grossière (> 1,27 cm) de 200, 720 et 490 mg/kg d'huiles et graisses minérales sont supérieurs aux résultats obtenus avec l'utilisation d'une maille de 1,91 centimètre au cours des étapes précédentes. Outre la maille du tamis de préparation, la présence d'une grande proportion de particules fines s'agglomérant aux particules grossières peut être responsable de ces résultats. Un meilleur rinçage de la fraction grossière pourrait être obtenu par l'augmentation du débit d'eau injectée au niveau du mélangeur et par l'ajout de rangées de jets de rinçage supplémentaires au niveau du tamis de préparation.

**6.4.5.3 PREMIER STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S3-S4).** - Des résultats de 1230, 1600 et 760 mg/kg d'huiles et graisses minérales ont été obtenus sur la fraction grossière (1,27 cm > S3 > 3,2 mm) après un stade de lessivage et rinçage. Le rythme d'alimentation semble directement relié à la variation des résultats. La présence d'une grande proportion de particules fines est responsable de la nécessité de réduire la capacité de production afin de permettre une meilleure efficacité du tamisage du matériel. L'augmentation de la pression et du débit d'eau à l'intérieur des réacteurs a pu également contribuer à l'obtention de meilleurs résultats permettant un meilleur entraînement des particules fines.

Après un stade de lavage de la fraction moyenne (3,2 mm > S4 > 44 microns), on observe des teneurs de 2250, 3035 et 1960 mg/kg d'huiles et graisses minérales.

**6.4.5.4 DEUXIÈME STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S5-S6).** - Pour la fraction grossière (3,2 mm > S5 > 1,6 mm), le meilleur résultat a également été obtenu avec un rythme d'alimentation réduit pour une teneur de 1050 mg/kg d'huiles et graisses minérales après le deuxième stade de lessivage et de rinçage.

Pour la fraction moyenne (1,6 mm > S6 > 44 microns), on observe des teneurs de 2000, 1730 et 1655 mg/kg après le deuxième lavage.

L'augmentation de la pression et du débit d'eau a pu contribuer à l'obtention de valeurs plus basses. On observe cependant une saturation du débit d'eau dans le réacteur à une pression de 82,8 bars. Des jets d'eau d'un diamètre plus petit permettraient l'opération à des pressions plus élevées.

**6.4.5.5 ENSEMBLE DES FRACTIONS (S10).** - Pour l'ensemble des fractions traitées, le meilleur essai indique une teneur de 1450 mg/kg d'huiles et graisses minérales satisfaisant le critère C, mais demeurant au delà du critère B. Un taux plus élevé de contaminants dans la fraction moyenne (S6) et la forte proportion de cette fraction expliquent les résultats plus élevés comparativement à ceux observés au cours des essais précédents.

**6.4.6 Comparaison avec les résultats précédents.** - Le tableau 31 présente la comparaison des résultats obtenus au cours des deux phases de développement sur le sol contaminé de type B et B'.

**Tableau 31 Comparaison des résultats obtenus sur les sols de type B et B'**

FRACTION	HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)				
	TYPE B Première phase de développement		TYPE B' Deuxième phase de développement		
	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>e</sup> essai	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>e</sup> essai	3 <sup>e</sup> essai
S1 Avant traitement	16 000	17 000	15 000	20 000	17 000
S2 >12,7 mm	65	---	200	720	490
S3 <12,7 mm et >3,2 mm	410	600	1 230	1 600	760
S4 <3,2 mm et >44 µ	3 395	2 615	2 250	3 035	1 960
S5 <3,2 mm et >1,6 mm	720	850	1 480	1 530	1 050
S6 <1,6 mm et >44 µ	1 435	1 365	2 000	1 730	1 655
S10 Ensemble des fractions	780	865	1 630	1 810	1 450
Capacité de production (m <sup>3</sup> /h)	1,22	1,11	1,15	1,53	0,88
% Volume récupéré	107,5 %	108,2 %	81,3 %	83,7 %	82,5 %
Critère C = 5 000 mg/kg Critère B = 1 000 mg/kg					

Une moyenne de 82,5 % du volume de sol traité récupéré au cours des essais de la deuxième phase de développement, comparativement à des résultats supérieurs à 100 % au cours de la première phase de développement, indique une forte proportion de particules fines dans le matériel traité au cours de la présente étape. Le matériel a été remanié au cours des travaux d'enlèvement des réservoirs souterrains sur le site de prélèvement. Le sol prélevé pour les essais provient probablement du fond de l'excavation où les particules fines se sont concentrées sous l'action du ruissellement.

La présence d'huile permettant l'agglomération des particules fines est probablement responsable des résultats de granulométrie non représentatifs obtenus en laboratoire.

On note qu'une capacité de production limitée de 0,88 mètre cube à l'heure a été nécessaire à l'obtention de meilleurs résultats. Les teneurs en huiles et graisses minérales sont inférieures au critère B pour la fraction grossière (S3) après un stade de lessivage (2<sup>e</sup> phase, 3<sup>e</sup> essai). Les fractions S5 et S6, qui ont subi un deuxième lessivage, ont des teneurs légèrement plus élevées que celles obtenues précédemment avec, respectivement, 1050 et 1655 mg/kg d'huiles et graisses minérales.

Ces résultats s'expliquent par la forte proportion de particules fines dans le matériel nécessitant un lessivage et un rinçage accru pour l'obtention de faibles teneurs en contaminants.

**6.4.7 Eau générée.** - Le tableau 32 présente les résultats d'analyses obtenus sur l'eau générée par le procédé au cours des essais.

**Tableau 32 Eau générée, sol de type B'**

# Essai	Huiles et graisses minérales (mg/l)
1	260
2	29
3	54
Normes de rejet à l'égout pluvial	
15	
(Règlement 87, Ville de Montréal)	

Le résultat de 260 milligrammes (mg) par litre obtenu au premier essai peut s'expliquer par la présence d'huile dans le décanteur avant le début des essais. Les deux autres résultats obtenus indiquent une faible quantité d'huile dans l'eau après décantation.

**6.4.8 Boues générées.** - Le tableau 33 présente les résultats d'analyses obtenus sur les boues générées par le lessivage du sol contaminé de type B'.

**Tableau 33 Boues générées, sol de type B'**

# Essai	Huiles et graisses minérales (mg/kg)	% Décontamination	% Eau
1	70 000	-357 %	44 %
2	61 000	-205 %	25 %
3	56 000	-229 %	33 %

Les résultats obtenus indiquent une forte concentration des contaminants dans la boue avec une teneur moyenne de 62 300 mg d'huile par kilogramme. La boue récupérée contient en moyenne 34 % d'eau.

**6.4.9 Bilan de masse.** - Le tableau 34 présente les résultats obtenus sur le calcul du bilan de masse pour les essais réalisés sur le sol contaminé de type B'.

Les résultats du calcul du bilan de masse indiquent une perte moyenne de 14 % du matériel traité (base sèche), comparativement à 0,5 % indiqué par les résultats des essais de granulométrie.

Les rendements moyens de récupération pour le poids calculé sur base sèche et pour les huiles et graisses minérales donnent respectivement des résultats de 103 et 72 %.

**Tableau 34 Bilan de masse, sol de type B'**

	Premier essai	Deuxième essai	Troisième essai	Moyenne
% Volume du sol récupéré (S10)	81 %	84 %	82 %	82 %
% Poids* du sol récupéré (S10)	81 %	85 %	92 %	86 %
% Volume total récupéré (S10+B)	111 %	112 %	107 %	110 %
% Poids* total récupéré (S10+B)	95 %	106 %	109 %	103 %
Sol non traité (S1) HetG (g)	35 700	45 360	38 490	---
Sol traité (S10) HetG (g)	3 150	3 480	3 030	---
Eau générée (E) HetG (g)	3 220	20	630	---
Boue générée (B) HetG (g)	23 100	28 900	20 550	---
Total (S10+E+B) (g)	29 470	32 400	24 210	---
Rendement de récupération des contaminants	83 %	71 %	63 %	72 %
* Base sèche				

## 6.5 Sol contaminé de type C

**6.5.1 Provenance.** - Le sol contaminé de type C provient d'un terrain servant à l'entreposage de poteaux pour Hydro-Québec situé à Lachute. Une partie du terrain est contaminée par des huiles minérales contenant du pentachlorophénol. Le terrain se compose de matériel fluvioglacière remanié.

Le volume de 5 mètres cubes de sol prélevé pour les essais provient de la surface du terrain jusqu'à une profondeur de 15 à 20 centimètres.

## 6.5.2 Caractérisation. -

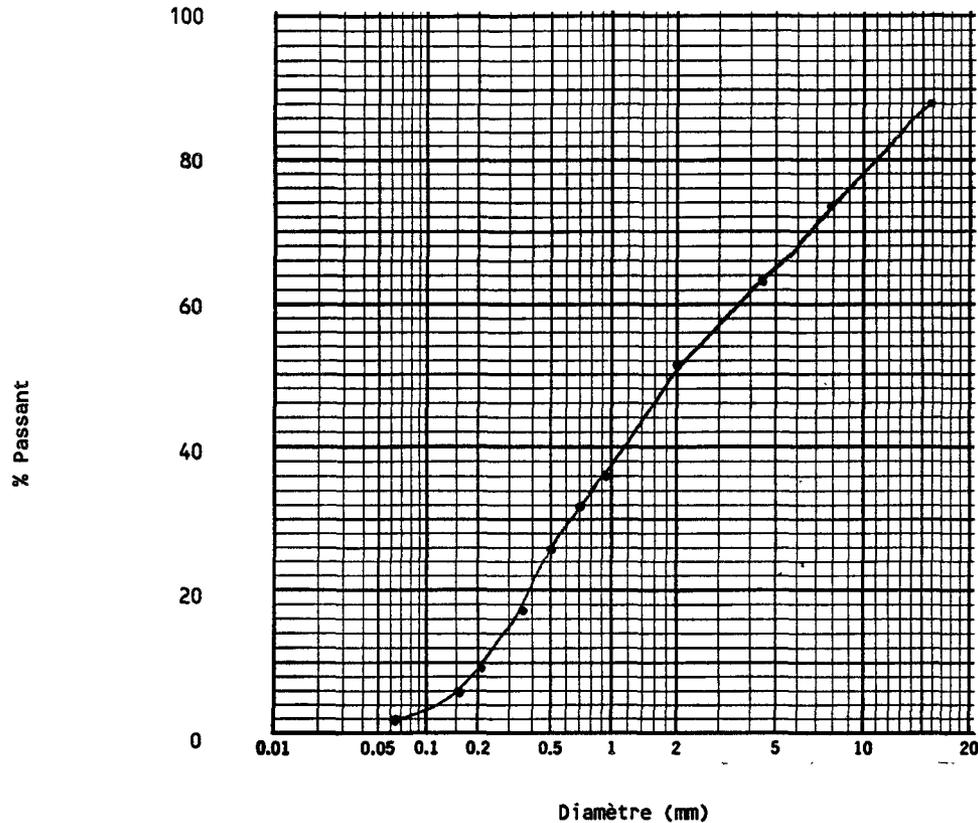
6.5.2.1 ESSAIS DE GRANULOMÉTRIE. - Le tableau 35 et la figure 12 présente les résultats des essais de granulométrie effectués sur le sol contaminé de type C.

Selon les résultats des essais de granulométrie, l'utilisation d'une maille de 325 mèches (44 microns) permettrait la récupération de plus de 98,8 % du matériel traité. Moins de 13 % du matériel traité serait éliminé au tamis de préparation.

**Tableau 35** *Granulométrie, sol de type C*

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
16	---	13,0*
8	2,5	14,4*
4,75	4	10,7*
2	10	16,1*
1	18	9,6*
0,71	25	4,6*
0,50	32	6,0*
0,355	45	8,9*
0,212	65	7,1*
0,150	100	4,1*
0,063	250	4,3**
0,0043	---	1,2**

\* Par tamisage  
\*\* Par sédimentation



**Figure 12** *Courbe granulométrique, sol de type C*

6.5.2.2 ANALYSES. - Le tableau 36 présente les résultats d'analyses effectuées sur l'échantillon de sol de type C ainsi que pour chacune des fractions inférieures et supérieures à deux millimètres.

Le bilan de masse réalisé sur l'échantillon tamisé en laboratoire donne des rendements de récupération des contaminants de 105, 45 et 30 % pour les huiles et graisses minérales, les pentachlorophénols et les tétrachlorophénols respectivement.

**Tableau 36 Caractérisation, sol de type C**

	Ensemble de l'échantillon	Fraction >2 mm	Fraction <2 mm	BILAN	
				Total	Rendement
Huiles et graisses minérales (mg/kg)	3 980	1 760	6 820	---	---
Pentachlorophénol (mg/kg)	253	97	134	---	---
Tétrachloro 2,3,5,6 phénol (mg/kg)	16	5,4	4,5	---	---
Poids humide (g)	1 467,3	760,4	701,7	---	---
% Eau	1 %	0 %	1 %	---	---
Poids sec (g)	1 452,6	760,4	694,7	1 455,1	100 %
Huiles et graisses minérales (mg)	5 781	1 338	4 738	6 076	105 %
Pentachlorophénol (mg)	368	74	93	167	45 %
Tétrachloro 2,3,5,6 phénol (mg)	23	4	3	7	30 %

**6.5.3 Conditions d'opération.** - Le tableau 37 présente les conditions d'opération des trois essais de traitement réalisés sur le sol contaminé de type C.

Pour le premier essai, une maille de 1,6 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du premier tamis de rinçage. Pour les deux essais suivants, une maille de 3,2 mm a été utilisée.

Pour le troisième essai, la fraction S3 (> 3,2 mm) a été extraite du procédé après le premier stade de lessivage, tandis qu'elle a subi les deux lessivages au cours des deux premiers essais.

**Tableau 37 Conditions d'opération, sol de type C**

# Essai	Premier essai	Deuxième essai	Troisième essai
Pression du réacteur #1	34,5 bars	41,4 bars	41,4 bars
Pression du réacteur #2	69,0 bars	69,0 bars	82,8 bars
T° du réacteur #1	94°C	94°C	95°C
T° du réacteur #2	96°C	94°C	96°C
T° du rinçage	92°C	93°C	89°C
Tamis de préparation	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	1,6 mm	3,2 mm	3,2 mm †
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ

† Indique l'extraction du procédé de la fraction S3 après le premier stade de lessivage

**6.5.4 Résultats d'analyses.** - Le tableau 38 présente les résultats d'analyses des essais effectués sur le sol contaminé de type C.

**Tableau 38 Résultats d'analyses, sol de type C**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES						
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai	
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.
S1	3 750	---	2 550	---	2 360	---
S2	325	91 %	260	90 %	285	88 %
S3	1 300	65 %	580	77 %	295	88 %
S4	2 935	22 %	1 850	27 %	1 240	47 %
S5	1 080	71 %	830	67 %	560	76 %
S6	1 900	49 %	1 360	47 %	910	61 %
S10	1 270	66 %	1 100	57 %	720	69 %
E	55*	---	46*	---	25*	---
B	43 000	-1 046 %	15 000	-488 %	16 000	-578 %

\* mg/l

Critère C = 5 000 mg/kg

Critère B = 1 000 mg/kg

PENTACHLOROPHÉNOL						
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai	
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.
S1	440	---	82	---	133	---
S2	1,5	99,7 %	<1,8	>98 %	<0,1	>99,9 %
S3	67	85 %	22	73 %	<1	>99 %
S4	74	83 %	152	-85 %	69,9	47 %
S5	31	93 %	95	-16 %	27	80 %
S6	382	13 %	127	-55 %	49,4	63 %
S10	208	53 %	130	-59 %	21,5	84 %
E	14,2*	---	14,7*	---	7,07*	---
B	167	62 %	243	-196 %	87,4	34 %

\* mg/l

Critère C = 5 mg/kg

Critère B = 0,5 mg/kg

**Tableau 38 (suite) Résultats d'analyses, sol de type C**

TÉTRACHLORO 2,3,5,6 PHÉNOL						
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai	
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.
S1	10	---	11	---	7	---
S2	<0,9	>91 %	<1,8	>84 %	<0,1	>99 %
S3	1,4	86 %	<2	>82 %	<1	>86 %
S4	2,4	76 %	10	91 %	3,4	51 %
S5	1,1	89 %	5	55 %	2,3	67 %
S6	23	-130 %	9	18 %	2,8	60 %
S10	13	-30 %	11	0 %	2,2	69 %
E	0,3*	---	0,2*	---	0,39*	---
B	5,5	45 %	15	-36 %	9,1	-30 %

\* mg/l  
Critère C = 5 mg/kg  
Critère B = 0,5 mg/kg

Volume de sol traité	1 500 l	1 500 l	1 500 l
Temps d'alimentation	55,5 min.	63 min.	93,5 min.
Capacité de production	1,62 m <sup>3</sup> /h	1,43 m <sup>3</sup> /h	0,96 m <sup>3</sup> /h
% Volume, sol récupéré	94,7 %	108 %	102 %
% Poids, sol récupéré (base sèche)	92,8 %	88,2 %	97,3 %

**6.5.5 Efficacité du traitement. -**

6.5.5.1 FRACTION S2. - Les résultats obtenus sur la fraction grossière (> 1,27 cm) indiquent des teneurs satisfaisant le critère B pour les huiles et graisses minérales et, à l'exception d'un résultat, pour les composés phénoliques.

6.5.5.2 PREMIER STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S3, S4). - L'emploi d'une maille de 3,2 mm a permis l'obtention de meilleurs résultats sur les deux fractions granulométriques après le premier stade de lessivage (2<sup>e</sup> essai, 3<sup>e</sup> essai), comparativement à l'utilisation d'une maille de 1,6 mm pour le 1<sup>er</sup> essai.

Comme pour les essais réalisés avec le sol contaminé de type B', on note qu'une capacité de production réduite a contribué à l'obtention de meilleurs résultats.

Pour le troisième essai, on observe des teneurs de 295 et 1240 mg/kg d'huiles et graisses minérales pour les fractions grossières (1,27 cm > S3 > 3,2 mm) et moyennes (3,2 mm > S4 > 44 microns) respectivement. Les teneurs en pentachlorophénol demeurent élevées avec 67 et 22 mg/kg (deux premiers essais) pour la fraction S3 et de 74, 152 et 69,9 mg/kg pour la fraction S4.

**6.5.5.3 DEUXIÈME STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S5 - S6).** - Après le deuxième stade de lessivage, le procédé a permis d'abaisser la teneur en huiles et graisses minérales en deçà du critère B sur la fraction grossière (1,27 cm > S5 > 1,6 mm) pour deux des trois essais réalisés. Pour la fraction moyenne (1,6 mm > S6 > 44 microns), le troisième essai, avec une capacité de production réduite, a donné le meilleur résultat avec 720 mg/kg d'huiles et graisses minérales.

On note cependant des teneurs élevées en composés phénoliques se concentrant principalement dans la fraction moyenne (S6).

**6.5.5.4 ENSEMBLE DES FRACTIONS (S10).** - Pour l'ensemble des fractions traitées, on observe des teneurs de 1270 et 1100 mg/kg d'huiles et graisses minérales approchant le critère B pour les deux premiers essais et une teneur de 720 mg/kg satisfaisant le critère B pour le troisième essai.

Les teneurs en composés phénoliques demeurent toutefois élevées (au-dessus du critère C).

**6.5.6 Eau générée.** - Le tableau 39 présente les résultats d'analyses de l'eau générée par le procédé au cours des essais de lessivage du sol contaminé de type C.

**Tableau 39 Eau générée, sol de type C**

# Essai	Huiles et graisses minérales (mg/L)	Pentachlorophénol (mg/L)	Tétrachloro 2,3,5,6 phénol (mg/L)
1	55	14,2	0,3
2	46	14,7	0,2
3	25	7,07	0,39
Normes de rejet à l'égout pluvial	15	0,02	0,02

(Règlement 87, Ville de Montréal)

Les résultats d'analyses de l'eau montrent une faible concentration d'huiles et graisses minérales et de composés phénoliques après décantation.

**6.5.7 Boues générées.** - Le tableau 40 présente les résultats d'analyses des boues générées par le lessivage du sol contaminé de type C.

**Tableau 40 Boues générées, sol de type C**

# Essai	Huiles et graisses minérales		Pentachlorophénol		Tétrachloro 2,3,5,6 phénol		Eau
	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	%
1	43 000	-1 046 %	167	62 %	5,5	45 %	48 %
2	15 000	-488 %	243	-196 %	15	-36 %	36 %
3	16 000	-578 %	87,4	34 %	9,1	-30 %	39 %

On observe une forte concentration des huiles et graisses minérales dans la boue. Pour les composés phénoliques, trois résultats sur six montrent une concentration des contaminants dans la boue. Ces résultats indiquent que le procédé est moins efficace pour le lavage de sol contaminé par des composés phénoliques comparativement à un sol contaminé par des huiles et graisses minérales.

La teneur moyenne en eau est de 41 %.

**6.5.8 Bilan de masse.** - Le tableau 41 présente les résultats obtenus sur le calcul du bilan de masse pour les essais réalisés sur le sol contaminé de type C.

Les résultats de calcul du bilan de masse indiquent une perte moyenne de 14 % du matériel traité (base sèche), comparativement aux prévisions de 1,2 % obtenues à partir des essais de granulométrie. Cet écart s'explique par l'inefficacité du tamisage à sec effectué en laboratoire. La présence d'huile dans le sol a pu contribuer à l'agglomération des particules fines. Le bilan donne un rendement moyen de récupération de 103 % pour les poids calculés sur une base sèche et de 67 % pour les huiles et graisses minérales. Pour les composés phénoliques, les rendements de récupération des contaminants obtenus montrent une grande variation avec des valeurs variant de 38 à 218 % pour les pentachlorophénols et de 58 à 129 % pour les tétrachlorophénols. Ces variations sont attribuables à l'imprécision des données.

**Tableau 41 Bilan de masse, sol de type C**

	Premier essai			Deuxième essai			Troisième essai			Moyenne		
% Volume du sol récupéré (S10)	95 %			108 %			102 %			102 %		
% Poids* du sol récupéré (S10)	81 %			85 %			92 %			86 %		
% Volume total récupéré (S10+B)	111 %			112 %			107 %			110 %		
% Poids* total récupéré (S10+B)	95 %			106 %			109 %			103 %		
	HetG	PCP	TCP	HetG	PCP	TCP	HetG	PCP	TCP	HetG	PCP	TCP
Sol non traité (S1) HetG (g)	10 040	1 180	27	6 745	217	29	6 070	342	18	---	---	---
Sol traité (S10) HetG (g)	3 155	516	32	2 565	303	26	1 800	54	5,5	---	---	---
Eau générée (E) HetG (g)	439	113	2,4	464	148	2	268	73	4	---	---	---
Boue générée (B) HetG (g)	3 740	15	0,5	1 335	22	1,3	1 760	1,4	1	---	---	---
Total (S10+E+B) (g)	7 334	664	34,9	4 364	473	29,3	3 828	128,4	10,5	---	---	---
Rendement de récupération des contaminants	73 %	55 %	129 %	65 %	218 %	101 %	63 %	38 %	58 %	67 %	104 %	96 %
* Base sèche												

## 6.6 Sol contaminé de type D

**6.6.1 Provenance.** - Le sol contaminé de type D provient de la cour du Garage municipal de la Ville de Beaconsfield. Le sol a été contaminé par des déversements accidentels d'huile à moteur usée survenus lors de manipulations autour d'un réservoir hors-terre d'entreposage de l'huile.

Le sol contaminé est composé de matériel de remblais et a été excavé après l'enlèvement du réservoir au printemps 1992.

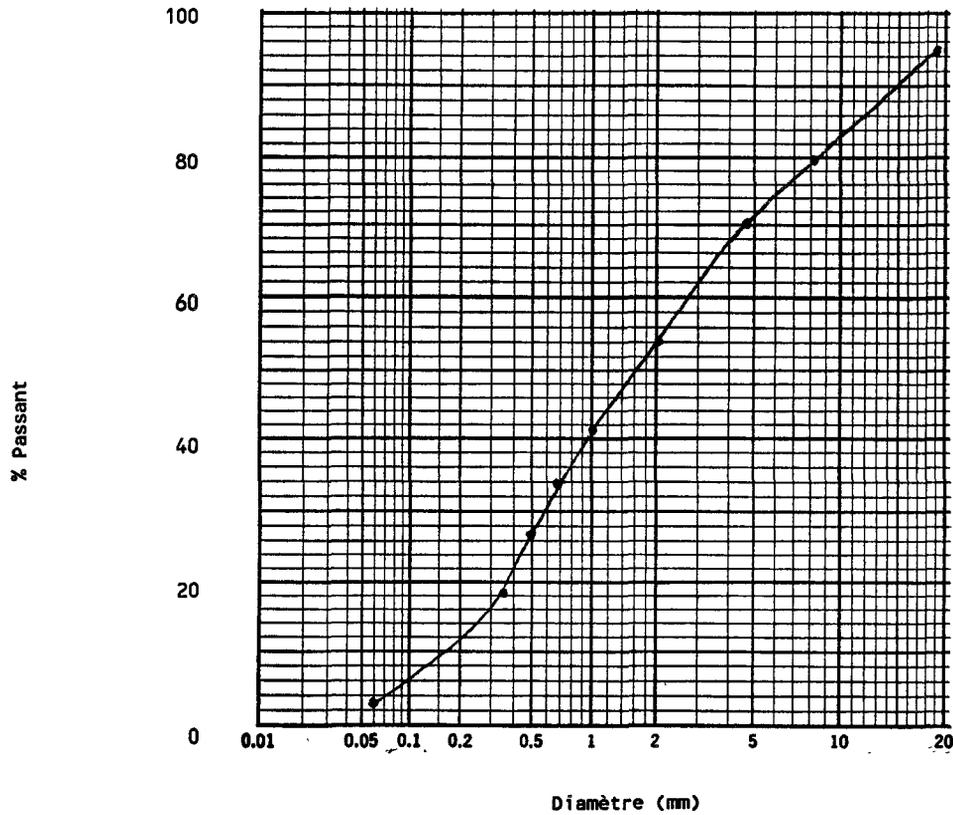
## 6.6.2 Caractérisation. -

**6.6.2.1 ESSAIS DE GRANULOMÉTRIE.** - Le tableau 42 et la figure 13 présentent les résultats des essais de granulométrie effectués sur le sol contaminé de type D.

**Tableau 42** *Granulométrie, sol de type D*

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
19	---	4,9*
8	2,5	15,3*
4,75	4	9,4*
2	10	16,0*
1	18	12,8*
0,71	25	7,1*
0,50	32	6,7*
0,355	45	8,0*
0,212	65	9,5*
0,150	100	3,2*
0,063	250	3,4**
0,0043	---	3,7**

\* Par tamisage  
\*\* Par sédimentation



**Figure 13** *Courbe granulométrique, sol de type D*

Selon les résultats des essais de granulométrie, l'utilisation d'une maille de 44 microns permettrait la récupération de 96,3 % du matériel traité. Moins de 5 % du matériel sera éliminé au tamis de préparation.

6.6.2.2 ANALYSES. - Le tableau 43 présente les résultats d'analyses effectuées sur l'échantillon du sol de type D ainsi que chacune des fractions inférieures et supérieures à deux millimètres pour les huiles et graisses minérales.

**Tableau 43 Caractérisation, sol de type D**

	Ensemble de l'échantillon	Fraction >2 mm	Fraction <2 mm	BILAN	
				Total	Rendement
Huiles et graisses minérales (mg/kg)	9 580	8 355	7 160	---	---
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (mg/kg)	<0,1	---	---	---	---
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (mg/kg)	<0,1	---	---	---	---
Composés organiques halogénés totaux (mg/kg)	<10	---	---	---	---
Cadmium (mg/kg)	<1	---	---	---	---
Chrome (mg/kg)	18	---	---	---	---
Cuivre (mg/kg)	16	---	---	---	---
Nickel (mg/kg)	14	---	---	---	---
Plomb (mg/kg)	45	---	---	---	---
Zinc (mg/kg)	53	---	---	---	---
Poids humide (g)	793,4	566,4	244,4	---	---
% Eau	4 %	4 %	5 %	---	---
Poids sec (g)	761,7	543,7	232,2	775,9	102 %
Huiles et graisses minérales (mg)	7 297	4 543	1 662	6 205	85 %

Les résultats indiquent une concentration en huiles et graisses minérales dans le matériel. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques et polycycliques ainsi que les composés organiques halogénés n'ont pas été détectés. Les métaux lourds sont présents en très faibles quantités.

Pour les essais de traitement, les huiles et graisses minérales seront les contaminants visés. Le plomb et le zinc seront également analysés afin de vérifier s'ils ont tendance à s'accumuler dans la fraction fine du matériel traité (boue).

**6.6.3 Conditions d'opération.** - Le tableau 44 présente les conditions d'opération des trois essais de traitement effectués sur le sol contaminé de type D.

**Tableau 44 Conditions d'opération, sol de type D**

# Essai	Premier essai	Deuxième essai	Troisième essai
Pression du réacteur #1	34,5 bars	34,5 bars	41,4 bars
Pression du réacteur #2	69,0 bars	69,0 bars	75,9 bars
T° du réacteur #1	96°C	94°C	94°C
T° du réacteur #2	94°C	95°C	95°C
T° du rinçage	91°C	89°C	91°C
Tamis de préparation	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	1,6 mm	1,6 mm	3,2 mm †
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ

† Indique l'extraction du procédé de la fraction S3 après le premier stade de lessivage

Pour les deux premiers essais, une maille de 1,6 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du premier tamis de rinçage. Pour le troisième essai, une maille de 3,2 mm a été utilisée sur ce même tamis et la fraction grossière (>3,2 mm) a été extraite du procédé après le premier stade de lessivage.

**6.6.4 Résultats d'analyses.** - Le tableau 45 présente les résultats d'analyses obtenus au cours des essais réalisés sur le sol contaminé de type D.

**Tableau 45 Résultats d'analyses, sol de type D**

HUILES ET GRAISSES MINÉRALES							
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai		
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	
S1	8 370	---	8 840	---	9 020	---	
S2	650	92 %	190	98 %	570	94 %	
S3	840	90 %	3 390	62 %	1 855	79 %	
S4	2 430	71 %	4 950	44 %	2 510	72 %	
S5	1 140	86 %	3 325	62 %	1 065	88 %	
S6	1 690	80 %	2 855	68 %	1 325	85 %	
S10	1 670	80 %	1 700	81 %	1 160	87 %	
E	81*	---	81*	---	61*	---	
B	49 000	-485 %	49 000	-454 %	40 000	-343 %	

\* mg/l

Critère C = 5 000 mg/kg

Critère B = 1 000 mg/kg

PLOMB							
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai		
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	
S1	26	---	25	---	33	---	
S2	2	92 %	<10	>60 %	1,1	97 %	
S3	5	81 %	12	52 %	19	42 %	
S4	19	27 %	<10	>60 %	25	24 %	
S5	20	23 %	<10	>60 %	20	39 %	
S6	15	42 %	12	52 %	12	64 %	
S10	25	4 %	<10	>60 %	<10	>70 %	
E	4,6*	---	0,68*	---	0,42*	---	
B	81	-212 %	154	-516 %	115	-248 %	

\* mg/l

Critère C = 1 000 mg/kg

Critère B = 200 mg/kg

Tableau 45 (suite)

**Résultats d'analyses, sol contaminé de type D**

ZINC						
# Essai	Premier essai		Deuxième essai		Troisième essai	
Fraction	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.
S1	59	---	42	---	50	---
S2	4,2	93 %	3	93 %	2	96 %
S3	7,1	88 %	43	-2 %	45	10 %
S4	35	41 %	30	29 %	55	-10 %
S5	40	32 %	25	40 %	21	58 %
S6	34	42 %	24	43 %	53	-6 %
S10	39	34 %	25	40 %	54	-8 %
E	0,09*	---	0,56*	---	0,65*	---
B	161	-173 %	128	-205 %	262	-424 %

\* mg/l  
 Critère C = 1 500 mg/kg  
 Critère B = 500 mg/kg

Volume de sol traité	1 500 l	1 500 l	1 800 l
Temps d'alimentation	91 min.	102,5 min.	117 min.
Capacité de production	0,99 m <sup>3</sup> /h	0,88 m <sup>3</sup> /h	0,92 m <sup>3</sup> /h
% Volume, sol récupéré	89,3 %	94,3 %	95,1 %
% Poids, sol récupéré (base sèche)	88,6 %	95,0 %	90,4 %

**6.6.5 Efficacité du traitement. -**

6.6.5.1 FRACTION S2. - Les analyses effectuées sur la fraction grossière (>1,27 cm) donnent des teneurs en huiles et graisses minérales de 650, 190 et 570 mg/kg après rinçage. Ces résultats sont satisfaisants mais sont supérieurs à ceux obtenus au cours de la première phase de développement. Un rinçage plus efficace de la fraction grossière pourrait être obtenu par l'augmentation du débit d'eau au niveau du mélangeur et par l'ajout de rangées de jets de rinçage supplémentaires au niveau du tamis de préparation.

6.6.5.2 PREMIER STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S3-S4). - Pour la fraction grossière (1,27 cm > S3 > 1,6 mm ou 3,2 mm), seul le premier essai a permis d'abaisser le taux de contamination en deçà du critère B avec une teneur de

840 mg/kg d'huiles et graisses minérales. Les teneurs élevées observées pour les deux essais suivants sont inexpliquées.

Pour la fraction moyenne (1,6 mm ou 3,2 mm > S4 > 44 microns), le premier stade de lessivage a permis d'abaisser la teneur en huiles et graisses minérales à 2430, 4950 et 2510 mg/kg respectivement pour les trois essais réalisés.

À l'exception de deux résultats, on note une diminution dans les teneurs en plomb et en zinc pour chacune des deux fractions après un premier lessivage.

**6.6.5.3 DEUXIÈME STADE DE LESSIVAGE (FRACTIONS S5-S6).** - Pour la fraction grossière (1,27 cm > S5 > 1,6 mm ou 3,2 mm), deux des trois essais ont permis d'approcher le critère B avec des résultats de 1140 et 1065 mg/kg d'huiles et graisses minérales. La fraction moyenne (1,6 mm ou 3,2 mm > S6 > 44 microns) a donné des résultats de 1690 et 1325 mg/kg pour ces deux mêmes essais.

**6.6.5.4 ENSEMBLE DES FRACTIONS (S10).** - Pour l'ensemble des fractions traitées, on observe des teneurs de 1670, 1700 et 1160 mg/kg d'huiles et graisses minérales. Le meilleur résultat (3<sup>e</sup> essai) a été obtenu avec l'extraction de la fraction moyenne (S3) après un premier stade de lessivage.

**6.6.6 Eau générée.** - Le tableau 46 présente les résultats d'analyses de l'eau générée au cours des essais de lessivage du sol contaminé de type D.

**Tableau 46 Eau générée, sol de type D**

# Essai	Huiles et graisses minérales (mg/l)	Plomb (mg/l)	Zinc (mg/l)
1	81	4,6	0,09
2	81	0,68	0,56
3	61	0,42	0,65
Normes de rejet à l'égout pluvial	15	0,1	1

(Règlement 87, Ville de Montréal)

Comme pour les essais réalisés sur d'autres types de sol contaminé, on observe une concentration relativement faible d'huiles et graisses minérales dans l'eau

après décantation. Pour les métaux, à l'exception des résultats pour le plomb au cours du premier essai, les teneurs se situent en deça de un milligramme par litre.

**6.6.7 Boues générées.** - Le tableau 47 présente les résultats d'analyses obtenus sur les boues générées par le procédé au cours du lessivage du sol contaminé de type D.

**Tableau 47 Boues générées, sol de type D**

# Essai	Huiles et graisses minérales		Plomb		Zinc		Eau
	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	mg/kg	% Déc.	%
1	49 000	-485 %	81	-212 %	161	-173 %	50 %
2	49 000	-454 %	154	-516 %	128	-205 %	61 %
3	40 000	-343 %	115	-248 %	262	-424 %	49 %

Bien que les résultats soient moins significatifs pour les métaux que pour les huiles et graisses minérales, on observe une concentration élevée de contaminants dans les boues.

**6.6.8 Bilan de masse.** - Le tableau 48 présente les résultats du calcul du bilan de masse pour les essais réalisés sur le sol contaminé de type D.

Les résultats du calcul du bilan de masse indiquent une perte de 9 % du matériel traité (base sèche) comparativement aux prévisions de 3,7 % obtenues à partir des résultats des essais de granulométrie. Les résultats donnent des rendements moyens de récupération de 100 % pour le poids et de 67 % pour les huiles et graisses minérales. Des rendements de récupération des contaminants variant de 78 à 183 % pour le plomb et de 82 à 171 % pour le zinc sont observés.

**Tableau 48 Bilan de masse, sol de type D**

	Premier essai			Deuxième essai			Troisième essai			Moyenne			
% Volume du sol récupéré (S10)	89 %			94 %			95 %			93 %			
% Poids* du sol récupéré (S10)	89 %			95 %			90 %			91 %			
% Volume total récupéré (S10+B)	109 %			112 %			116 %			112 %			
% Poids* total récupéré (S10+B)	97 %			101 %			103 %			100 %			
	HetG	Pb	Zn	HetG	Pb	Zn	HetG	Pb	Zn	HetG	Pb	Zn	05
Sol non traité (S1) HetG (g)	20 870	65	147	22 280	63	106	27 770	102	154	---	---	---	
Sol traité (S10) HetG (g)	3 690	55	86	4 070	<24	60	3 230	<28	150	---	---	---	
Eau générée (E) HetG (g)	836	47	1	1 100	9	8	945	6,5	10	---	---	---	
Boue générée (B) HetG (g)	10 490	17	34	7 250	23	19	15 720	45	103	---	---	---	
Total (S10+E+B) (g)	15 006	119	121	12 420	<56	87	19 895	<79,5	263	---	---	---	
Rendement de récupération des contaminants	72 %	183 %	82 %	58 %	<89 %	82 %	72 %	<78 %	171 %	67 %	<117 %	112 %	
* Base sèche													

## **6.7 Recyclage de l'eau**

**6.7.1 Objectifs.** - Parallèlement aux essais de lessivage du sol contaminé, des essais de traitabilité de l'eau générée par le procédé ont été effectués.

Une caractérisation de chacun des types d'eau générée a été réalisée. Les essais de traitabilité visent par la suite à déterminer si les concentrations élevées de certains paramètres peuvent être atténuées par l'ajout de coagulant et de floculant.

**6.7.2 Caractérisation des eaux générées.** - Les quatre types d'eau générée par le procédé proviennent du lessivage du sol contaminé de type A au cours de la première phase de développement et des sols contaminés de type B', C et D au cours de la deuxième phase de développement.

Le tableau 49 présente les résultats d'analyses de la caractérisation des eaux générées avant traitement.

L'eau d'appoint provient du réseau d'aqueduc de la Ville de Laval.

**6.7.2.1 EAU DE TYPE A.** - Selon les résultats d'analyses, l'eau du type A s'est avérée être une eau dure avec 2085 mg/l de dureté totale en  $\text{CaCO}_3$ . Parmi les paramètres élevés, on retrouve la couleur vraie qui atteint 350 UCV et les solides en suspension qui sont de l'ordre des 2,79 %. On observe aussi un taux de fer très élevé avec 750 mg/l ainsi que la présence de plomb (6,1 mg/l) et de manganèse (10,91 mg/l). On observe une faible teneur en huiles et graisses minérales de 27 mg/l.

**6.7.2.2 EAU DE TYPE B'.** - Parmi les quatre types d'eau analysée, celle-ci possède le plus bas taux de solide en suspension soit 524 mg/l. Ce résultat est relié à la nature du sol qui est composé de sable et de concassé. Cependant, on remarque une couleur vraie élevée (157 UCV) et une augmentation de la dureté totale par rapport à l'eau d'appoint. De plus, les huiles et graisses totales atteignent 53 mg/l.

**Tableau 49 Caractérisation des eaux générées**

Paramètre	A Huile à transformateur	B' Huile à chauffage	C Huile minérale et pentachloro- phénols	D Huile à moteur usée	Appoint	Normes de rejet à l'égout pluvial <sup>1</sup>
Résultats en mg/l						
Azote Kjeldhal	8,8	3,9	7,1	19,6	---	---
Couleur UCV <sup>2</sup>	350	157	7 596	176	---	15
Dureté totale	2 085	367	195	4 213	42	---
M.E.S.	27 930	524	4 030	10 220	---	30
DCO total	---	---	---	296	---	---
pH	7,1	7,7	7,5	8,1	---	6 à 9,5
Nitrates N	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	---	---
Phosphore en P	7,75	0,66	1	1,17	---	1
Sulfates	1,6	9,1	<0,5	82	24	1500
Sulfures totaux	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	---	---
Calcium	---	---	---	1 335	---	---
Chrome	1,13	0,02	0,06	0,39	---	1
Cuivre	---	---	---	0,44	---	1
Fer	750	9,18	85,1	234	0,02	17
Mercuré	---	---	---	<0,002	---	0,001
Magnésium	---	---	---	214	3,11	---
Manganèse	10,91	0,2	2,75	10	---	---
Plomb	6,1	<0,1	<0,1	2,7	---	0,1
Zinc	---	---	---	2,9	---	1
Huiles et graisses totales	27	53	28	275	---	15
HAM	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	---	---
HAP	---	---	---	0,1	---	---
BPC	<1	---	---	---	---	---
Phénols	---	---	0,4	---	---	0,02

<sup>1</sup> Règlement 87, Ville de Montréal  
<sup>2</sup> Unités de couleur vraie

6.7.2.3 EAU DE TYPE C. - L'eau générée lors de cette étape possède le plus haut taux de couleur vraie soit 7596 UCV. Comme il s'agissait d'un sol contenant des pentachlorophénols, ces derniers, bien qu'à des concentrations assez faibles (0,4 ppm), peuvent avoir contribué à la couleur. Parmi les paramètres élevés, on

retrouve aussi les solides en suspension avec 4030 mg/l et les huiles et graisses totales avec 28 mg/l.

**6.7.2.4 EAU DE TYPE D.** - Les huiles et graisses totales et les solides en suspension, ayant respectivement 275 mg/l et 10 220 mg/l, sont parmi les paramètres les plus élevés avec le fer (234 ppm) ainsi que la couleur avec 176 UCV. De plus, on remarque la présence de plomb 2,7 mg/l et de zinc 2,9 mg/l.

### **6.7.3 Essais de coagulation. -**

**6.7.3.1 PRODUITS UTILISÉS.** - Le sulfate d'aluminium ( $Al_2(SO_4)_3$ ) a été utilisé comme coagulant. La concentration de la solution mère de coagulant était de 48,2 %.

Un lait de chaux hydratée a également été dosé afin de permettre la précipitation de certains métaux et d'augmenter la dimension des flocons. La concentration de la solution mère de chaux était de 5 %.

**6.7.3.2 MÉTHODOLOGIE.** - Les essais de coagulation ont été réalisés à une température de 40°C de façon à reproduire les conditions réelles d'opération.

Le sulfate d'aluminium a été dosé à 0,3 cc et le lait de chaux à 3 cc par 1000 ml d'eau. Le lait de chaux a été ajouté 10 secondes après le sulfate d'aluminium.

Des volumes d'eau d'un litre ont été utilisés pour les essais. Les vitesses de brassage étaient de 120 RPM pour les 20 premières secondes et de 10 RPM pour les quatre minutes suivantes. Le temps de décantation était de 60 minutes. La partie liquide a été recueillie et expédiée au laboratoire pour analyses.

**6.7.3.3 RÉSULTATS DES ESSAIS.** - Le tableau 50 présente les résultats d'analyses effectués sur l'eau après coagulation et décantation.

**Tableau 50 Résultats des analyses des eaux surnageantes lors des essais de coagulation**

Paramètre	A-1	B'-1	C-1	D-1	D-2	Normes de rejet à l'égout pluvial <sup>1</sup>
	Résultats en mg/l					
Azote Kjeldhal	---	---	1,56	4,1	1,2	---
Couleur UCV <sup>2</sup>	32	26	---	---	---	15
Couleur vraie	---	---	114	106	15	---
Dureté CaCO <sub>3</sub>	---	242	233	176	250	---
M.E.S.	9	8,5	---	---	---	30
DCO total	---	---	133	---	20	---
Nitrates N	---	---	<0,05	---	---	---
Phosphore en P	<0,05	<0,05	0,16	0,14	0,06	1
Sulfates	252	250	137	93	198	1500
Sulfures totaux	---	---	<0,5	---	---	---
Calcium	---	---	88	52,5	84,9	---
Chrome	<0,01	---	0,01	<0,01	<0,01	1
Cuivre	---	---	---	<0,01	<0,01	1
Fer	0,02	0,12	1,9	0,73	0,24	17
Magnésium	---	---	3,4	10,9	9,2	---
Manganèse	<0,01	---	0,4	0,32	0,19	---
Plomb	<0,1	---	<0,1	<1	<1	0,1
Zinc	---	---	---	0,01	<0,01	1
Huiles et graisses totales	2	2	5	1	1	15
HAM	---	---	<0,02	---	---	---
Phénols	---	---	<0,01	---	---	0,02

<sup>1</sup> Règlement 87, Ville de Montréal

<sup>2</sup> Unités de couleur vraie

Pour tous les types d'eau générée, on observe la formation rapide de flocons et une bonne décantation de ceux-ci. On observe également une diminution considérable de la couleur. Une baisse de la concentration des métaux, tel le fer, le manganèse, le plomb et le cuivre, a été observée. La teneur en huiles et graisses minérales a également été réduite. De façon générale, les paramètres problématiques observés sur l'eau non traitée ont diminués de façon significative. On peut conclure

que ces contaminants sont présents dans la matière en suspension plutôt que dissous dans l'eau.

**6.7.3.4 RECOMMANDATIONS.** - Comme il a été observé lors de la caractérisation des eaux, les caractéristiques du sol traité se reflètent dans les eaux générées par le procédé. Un traitement complet est suggéré de façon à limiter l'accumulation de certains composés tels les métaux, et de s'adapter aux différentes conditions rencontrées relativement à la nature du sol traité.

L'unité de recyclage de l'eau devrait comprendre les éléments suivants:

1. Réservoir d'entreposage de l'eau usée;
2. Décantation ou centrifugation dans le but d'extraire les matières en suspension;
3. Récupération de la phase huileuse au moyen d'un écumeur;
4. Précipitation des métaux et autres ions dissous à l'aide de coagulant et de chaux;
5. Filtration sur lit de sable et d'antracite et échangeurs ioniques;
6. Absorption des phases huileuses résultantes à l'aide de filtres oléophiliques;
7. Adsorption des matières organiques et métaux résultants sur charbon activé;
8. Réservoir d'entreposage des eaux traitées;
9. Déshydratation des boues.

## **6.8 Centrifugation des boues**

**6.8.1 Objectifs.** - Suite aux essais de lessivage du sol contaminé, des essais de centrifugation des boues générées ont été réalisés dans le but d'évaluer l'efficacité de cette technologie sur la réduction du volume de boue.

**6.8.2 Méthodologie.** - Les essais de centrifugation ont été réalisés aux laboratoires de Pétrocycle Inc. sur trois différents types de boue générée par le

lessivage des sols contaminés de type B', C et D au cours de la deuxième phase de développement.

Les essais en laboratoire ont été réalisés sur des volumes de 40 millilitres de boue. Malgré les volumes réduits utilisés pour les essais, la technique utilisée a démontré que les essais en laboratoire étaient représentatifs de l'application de la technologie en conditions réelles d'opération.

**6.8.3 Résultats d'analyses.** - Le tableau 51 présente les résultats d'analyses obtenus par Pétrocycle Inc.

Compte tenu de l'eau ajoutée dans une proportion de un pour un, les résultats indiquent une réduction de volume de 50 % par rapport au volume de boue brute initiale, pour chacun des trois types de boue traitée. Les tests de siccité effectués par Pétrocycle Inc. ont donné des résultats de 65, 68 et 72 % pour les boues de type B', C et D respectivement.

**Tableau 51 Essais de centrifugation**

# Échantillon	Type d'échantillon	Dosage polymère (ppm)	Eau ajoutée	Qualité de l'eau	Réduction de volume	Siccité %
9-B'	Boue brute	0	-	-	-	49,8
9-B'	Boue centrifugée	0	1:1	Brouillée	23/43	61,2
9-B'	Boue centrifugée	300	1:1	Claire	8/40	65,7
9-B'	Boue centrifugée	350	1:1	Claire	8/40	64,6
9-B'	Boue centrifugée	400	1:1	Claire	8/40	65,0
9-B'	Boue centrifugée	450	1:1	Claire	10/40	64,4
9-C	Boue brute	0	-	-	-	65,7
9-C	Boue centrifugée	0	1:1	Brouillée	4/43	63,9
9-C	Boue centrifugée	300	1:1	Claire	11/40	68,4
9-C	Boue centrifugée	350	1:1	Claire	11/40	68,5
9-C	Boue centrifugée	400	1:1	Claire	11/40	68,5
9-C	Boue centrifugée	450	1:1	Claire	10/40	68,7
9-C	Boue centrifugée	320	1:1	Claire	Petit floc	-
9-D	Boue brute	0	-	-	-	52,6
9-D	Boue centrifugée	0	1:1	Brouillée	40/45	57,7
9-D	Boue centrifugée	600	1:1	Claire	20/40	72,3
9-D	Boue centrifugée	650	1:1	Claire	10/40	72,7
9-D	Boue centrifugée	700	1:1	Claire	10/40	72,3
9-D	Boue centrifugée	750	1:1	Claire	10/40	71,9
9-D	Boue centrifugée	600	1:1	Claire	Beau floc	-

Le tableau 52 présente les résultats d'analyses obtenus sur les boues après centrifugation.

**Tableau 52 Résultats d'analyses des boues centrifugées**

# Échantillon	9-B'	9-C	9-D
<b><u>Boue Brute:</u></b>			
Huiles et graisses minérales (%)	9,3 %	4,4 %	5,3 %
% d'eau	47 %	38 %	44 %
<b><u>Boue Centrifugée:</u></b>			
Huiles et graisses minérales (%)	7,6 %	4,4 %	4,8 %
% d'eau	31 %	25 %	27 %
<b><u>Eau générée:</u></b>			
Huiles et graisses minérales (mg/l)	75	119	7
Siccité (%)	65 %	68 %	72 %
Bilan (siccité % + % d'eau)	96 %	93 %	99 %

Les résultats indiquent une diminution du pourcentage d'eau de l'ordre de 13 à 17 % après centrifugation. On observe une faible diminution de la teneur en huiles et graisses sur deux des trois échantillons.

### 6.9 Efficacité du traitement en fonction de la granulométrie du sol

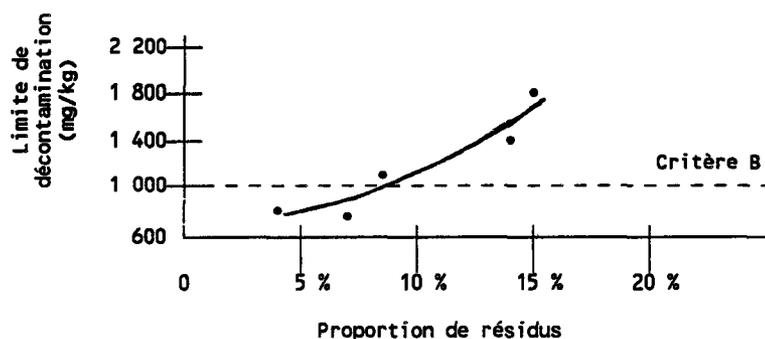
Le tableau 53 présente une synthèse des résultats obtenus au cours du traitement des différents types de sol.

Les taux d'efficacité du traitement ne sont pas représentatifs des limites obtenues, les sols C et D contenant une faible quantité de contaminants avant traitement comparativement aux sols de type A, B et B'.

**Tableau 53 Efficacité du traitement en fonction du type de sol**

	A	B	B'	C	D
Type de sol	Fluvio-glaciaire	Remblais	Remblais	Fluvio-glaciaire	Remblais
Composition	Silt, sable, gravier	Sable, gravier	Argile, silt, sable, gravier	Silt, sable, gravier	Silt, sable
Type de contaminant	Huile isolante à transformateur	Huile à chauffage	Huile à chauffage	Huile minérale et PCP	Huile à moteur usée
Concentration d'huiles minérales avant traitement (mg/kg)	18 000	16 000	17 000	2 360	9 000
Concentration d'huiles minérales après traitement (mg/kg)	1 880	780	1 450	720	1 160
Efficacité du traitement	90 %	95 %	91 %	69 %	87 %
Sol traité récupéré	85 %	96 %	86 %	93 %	91 %
Résidus	15 %	4 %	14 %	7 %	9 %
Critère C = 5 000 mg/kg Critère B = 1 000 mg/kg					
Conditions d'opération					
Pression du réacteur #1	27,6 bars	27,6 bars	41,4 bars	41,4 bars	41,4 bars
Pression du réacteur #2	27,6 bars	27,6 bars	82,8 bars	82,8 bars	82,8 bars
T° du réacteur #1	94°C	88°C	96°C	95°C	94°C
T° du réacteur #2	94°C	89°C	94°C	96°C	95°C
T° de rinçage	94°C	89°C	93°C	89°C	91°C
Tamis de préparation	19,1 mm	19,1 mm	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	3,2 mm	3,2 mm	3,2 mm †	3,2 mm †	3,2 mm †
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ	44 µ	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ	44 µ	44 µ	44 µ	44 µ
† indique l'extraction de la fraction S3 après le premier stade de lessivage et de rinçage					

La figure 14 présente les limites de décontamination en fonction de la proportion de résidus (particules < 44 microns) générés par le procédé.



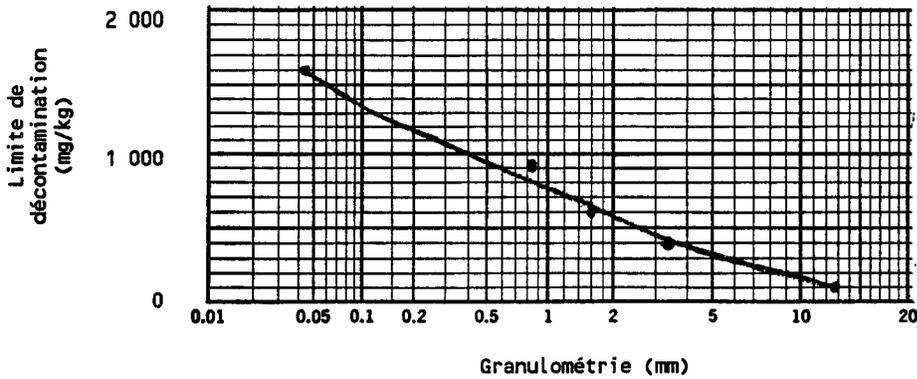
**Figure 14 Limites de décontamination en fonction de la proportion de résidus**

Les résultats indiquent une relation directe entre les limites de décontamination et la granulométrie du sol traité. Les résultats en dessous du critère B pour le sol traité ont été obtenus sur du sol contaminé contenant moins de 8 % de particules fines.

Les limites de décontamination en fonction de chacune des fractions granulométriques du sol sont présentées au tableau 54 et à la figure 15 à partir des résultats obtenus sur les différents types de sol traité au cours des phases I et II de développement.

**Tableau 54 Limites de décontamination en fonction de la granulométrie**

Fraction	Limites
S2 > 12,7 mm	<100 mg/kg
12,7 mm > S3 > 3,2 mm	400 mg/kg
3,2 mm > S5 > 1,6 mm	600 mg/kg
1,6 mm > S5' > 0,84 mm	950 mg/kg
0,84 mm > S6 > 44 $\mu$	1600 mg/kg



**Figure 15 Limites de décontamination en fonction de la granulométrie**

Les résultats obtenus indiquent que les fractions granulométriques supérieures 0,7 millimètre ont donné des valeurs inférieures au critère B. Pour les fractions granulométriques situées entre 44 microns et 0,7 millimètre, les limites se situent entre 1000 et 1800 mg/kg d'huiles et graisses minérales. Le résultat final, pour un type de sol en particulier, dépend des proportions des différentes fractions granulométriques.



## **7 DÉMONSTRATION**

### **7.1 Objectifs**

La dernière étape du projet avait pour but la démonstration de la technologie en conditions réelles de terrain. Un volume de 75 mètres cubes de sol contaminé a été traité au cours de la démonstration. Préalablement à la mobilisation des équipements sur le terrain, un volume de huit mètres cubes de sol provenant du même site a été traité afin de vérifier la faisabilité de l'étape de démonstration.

Les objectifs de cette étape étaient d'évaluer l'efficacité du procédé, les quantités de résidu généré, l'entretien des équipements, le bon fonctionnement des unités de recyclage de l'eau et de préciser les coûts d'opération.

### **7.2 Historique du site**

La démonstration a eu lieu sur le site du poste Lafontaine d'Hydro-Québec, situé à St-Canut au nord de Montréal. Un volume d'environ 200 mètres cubes de sol a été contaminé par de l'huile minérale pendant l'incendie d'un transformateur survenu en juin 1991. Le sol contaminé a été entreposé sur le site en tas de 25 à 40 mètres cubes chacun. Chaque tas a été caractérisé par Hydro-Québec.

Pour les besoins des essais et de la démonstration, les tas #1, 3 et 4 ont été retenus. Une procédure de mélange a été établie afin d'obtenir une granulométrie et un degré de contamination uniforme pendant les opérations.

Le tableau 55 présente les résultats de caractérisation fournis par Hydro-Québec ainsi que les proportions des mélanges.

Après le prélèvement de huit mètres cubes pour les essais et des premiers 60 mètres cubes pour la démonstration (mélange #1), le tas #4 étant épuisé, les derniers 15 mètres cubes ont été prélevés à partir des tas #1 et 3 (mélange #2). Selon les résultats d'analyses fournis par Hydro-Québec, la valeur calculée de la concentration en huiles et graisses minérales du mélange #2 est comparable à celle du mélange #1.

**Tableau 55 Caractérisation par Hydro-Québec et proportions des mélanges**

	Tas #1	Tas #3	Tas #4	Huiles et graisses minérales (calculé) (mg/kg)
Huiles et graisses minérales (mg/kg)	6 235	24 000	14 000	---
Mélange #1 • Essai 8m <sup>3</sup> • Démonstration 60m <sup>3</sup>	25 %	25 %	50 %	14 560
Mélange #2 • Démonstration 15m <sup>3</sup>	50 %	50 %	---	15 120

### 7.3 Équipements utilisés

**7.3.1 Traitement des granulats.** - L'unité de lessivage construite au cours des phases I et II du développement a été utilisée pour le traitement des granulats.

**7.3.2 Concentration des contaminants et recyclage de l'eau.** -

**7.3.2.1 SYSTÈME D'INJECTION DES COAGULANTS.** - Le système d'injection des coagulants est installé à l'entrée de l'unité de décantation. Il est constitué de deux pompes doseuses reliées au conduit d'alimentation du décanteur muni d'un mélangeur statique.

**7.3.2.2 BASSIN DE DÉCANTATION.** - Le bassin de décantation, d'une capacité de 24 000 litres d'eau, se divise en deux parties. La première partie consiste en une goulotte de répartition suivie de trois chicanes permettant la réduction de la vitesse de l'eau. La deuxième partie comprend une série de lamelles inclinées suivies d'une lamelle retenant les huiles de surface et d'une goulotte de récupération de l'eau décantée.

**7.3.2.3 UNITÉ DE FILTRATION.** - L'unité de filtration se compose de six filtres à courant descendant. Les milieux filtrants sont décrits au tableau 56.

**Tableau 56 Milieux filtrants, unité de filtration de l'eau**

# Filtre	Milieu filtrant
1-2	Sable et anthracite
3-4	Oléophile
5-6	Charbon activé

**7.3.3 Autres équipements.** - Des conteneurs étanches pour l'entreposage du sol contaminé et du sol traité, une pépinière pour l'alimentation de l'unité de lessivage et une citerne d'entreposage pour l'eau recyclée ont été utilisés. L'unité de lessivage des sols a été raccordée à un réservoir de propane. En plus des équipements cités, la démonstration sur le terrain a nécessité la mobilisation de génératrices pour fournir les besoins en électricité des différents équipements.

#### **7.4 Caractérisation du sol**

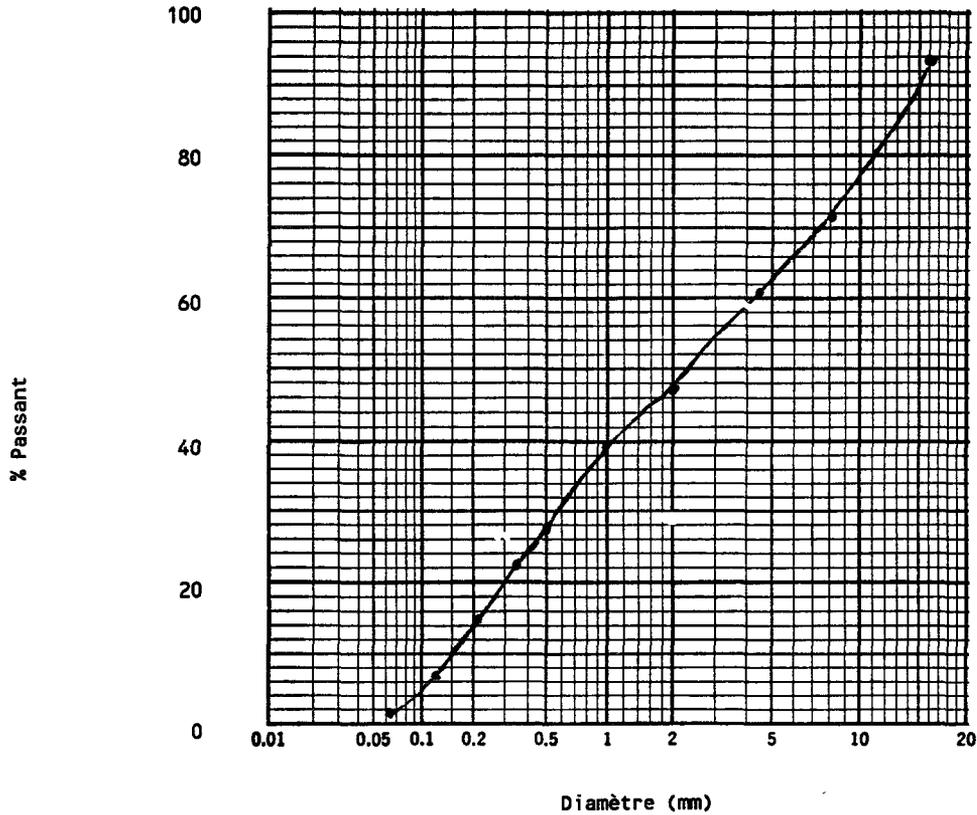
**7.4.1 Essai granulométrique.** - Le tableau 57 et la figure 16 présentent les résultats de l'essai granulométrique réalisé sur l'échantillon composite de sol contaminé de type E.

Selon les résultats de l'essai de granulométrie, plus de 5,8 % du matériel serait éliminé au tamis de préparation. L'utilisation d'une maille de 325 mèches (44 microns) permettrait la récupération de près de 98 % du matériel.

**Tableau 57 Granulométrie, sol de type E**

Diamètre (mm)	Diamètre (mèches)	% Retenu
16	---	5,82*
8	2,5	21,68*
4,75	4	10,79*
2	10	14,45*
1	18	7,76*
0,71	25	5,43*
0,50	32	6,10*
0,355	45	5,32*
0,212	65	7,35*
0,150	100	7,56*
0,063	250	5,88**
0,0043	---	2,14**

\* Par tamisage  
\*\* Par sédimentation



**Figure 16 Courbe granulométrique, sol de type E**

**7.4.2 Analyses chimiques.** - Préalablement aux essais de traitement et à la démonstration, un échantillon composite du mélange du sol contaminé a été prélevé sur le terrain pour fin de caractérisation. Le sol contaminé provenant du poste Lafontaine a été identifié "type E". Le tableau 58 présente les résultats des analyses chimiques effectuées sur l'échantillon composite.

**Tableau 58 Caractérisation, sol de type E**

Huiles et graisses minérales (mg/kg)	11 000
BPC (mg/kg)	0,87

La concentration en huiles et graisses minérales de 11 000 mg/kg mesurée au laboratoire est légèrement inférieure à la valeur calculée à l'aide des résultats d'analyses fournis par Hydro-Québec (14 560 mg/kg) et présentée au tableau 55.

Sachant que l'huile contenue dans le transformateur contenait une concentration en BPC inférieure à 2 ppm, la valeur de 0,87 mg/kg mesurée dans le sol est élevée par rapport aux prévisions. Elle se situe toutefois en deça du critère B (1 mg/kg).

## **7.5 Prélèvement des échantillons**

La figure 17 et le tableau 59 présentent les points de prélèvement des échantillons au cours des essais de traitement et de la démonstration.

Tous les échantillons sont composites. Les échantillons de sol et d'eau ont été prélevés à une fréquence de 0,25 litre toutes les 15 minutes d'opération. Les échantillons de boue ont été prélevés à la fin des essais et de la démonstration. Les échantillons de filtres ont été prélevés à la fin de la démonstration.

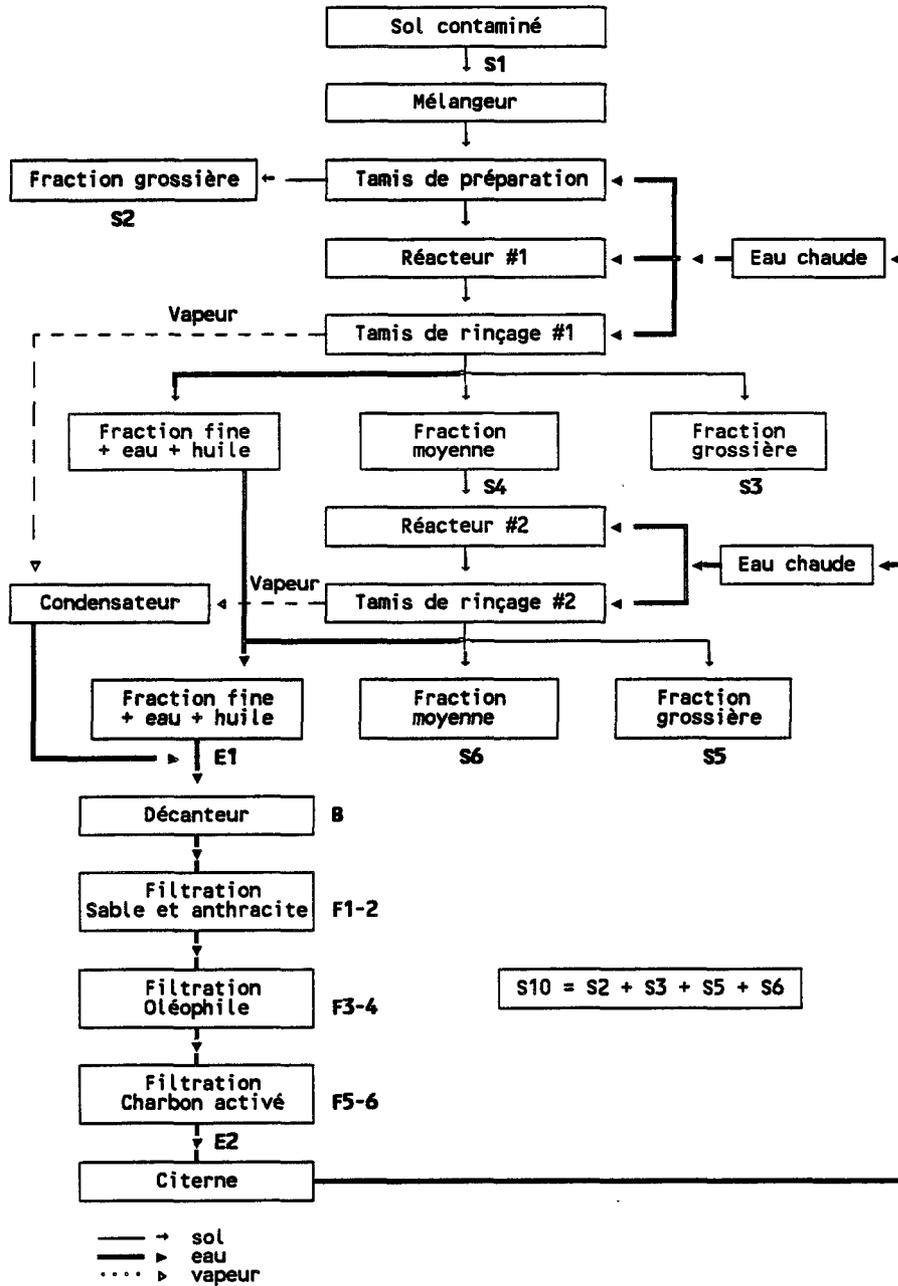


Figure 17 Prélèvement des échantillons, démonstration

**Tableau 59 Prélèvement des échantillons, démonstration**

Identification	Description	Point de prélèvement
S1	Sol avant traitement	Entrée du mélangeur
S2	Sol rincé, fraction très grossière (>1,27 cm)	Sortie du tamis de préparation, étage supérieur
S3	Sol lessivé, fraction grossière, première passe	Sortie du tamis de rinçage #1, étage supérieur
S4	Sol lessivé, fraction moyenne, première passe	Sortie du tamis de rinçage #1, étage inférieur
S5	Sol lessivé, fraction grossière, deuxième passe	Sortie du tamis de rinçage #2, étage supérieur
S6	Sol lessivé, fraction moyenne, deuxième passe	Sortie du tamis de rinçage #2, étage inférieur
S10	Sol traité, ensemble des fractions	Sortie du convoyeur #2
E1	Eau générée par le procédé	Entrée du décanteur
E2	Eau recyclée	Sortie de l'unité de filtration
B	Boue (fraction fine)	Base du décanteur
F1-F2	Sable et anthracite	Filtres
F3-F4	Oléophile	Filtres
F5-F6	Charbon activé	Filtres

## 7.6 Essais de traitement

**7.6.1 Prélèvement du sol contaminé.** - Pour les besoins des essais de traitement, un volume de huit mètres cubes de sol contaminé a été prélevé au poste Lafontaine selon la procédure de mélange décrite précédemment. Deux essais de traitement sur des volumes de quatre mètres cubes chacun ont été réalisés.

**7.6.2 Conditions d'opération.** - Le tableau 60 présente les conditions d'opération des deux essais de traitement.

Pour chacun des deux essais, une maille de 3,2 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du tamis de rinçage #1. La fraction grossière du sol (S3 > 3,2 mm) a été extraite du procédé après le premier stade de lavage.

**Tableau 60 Conditions d'opération des essais de traitement, sol de type E**

# Essai	Premier essai	Deuxième essai
Pression du réacteur #1	34,5 bars	34,5 bars
Pression du réacteur #2	55,2 bars	69,0 bars
T° du réacteur #1	90°C	93°C
T° du réacteur #2	88°C	94°C
Tamis de préparation	12,7 mm	12,7 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	3,2 mm †	3,2 mm †
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	1,6 mm	0,84 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ	44 µ
Volume de sol traité	4 m <sup>3</sup>	4 m <sup>3</sup>
Temps d'alimentation	198 min.	232 min.
Capacité de production	1,21 m <sup>3</sup> /h 2,04 t/h	1,03 m <sup>3</sup> /h 1,74 t/h

† indique l'extraction au procédé de la fraction S3 après le premier stade de lessivage

Pour le premier essai, une maille de 1,6 mm a été utilisée sur l'étage supérieur du tamis de rinçage #2. Vu la faible quantité de matériel recueillie sur cet étage (3,2 mm > S5 > 1,6 mm), une ouverture de 0,84 mm a été utilisée pour le deuxième essai.

Une pression d'opération de 69,0 bars a été utilisée pour le réacteur #2 au cours du deuxième essai comparativement à 55,2 bars pour le premier essai.

Pour le deuxième essai, la capacité de production a été réduite à 1,03 mètre cube à l'heure comparativement à 1,21 mètre cube à l'heure pour le premier essai.

**7.6.3 Résultats d'analyses.** - Le tableau 61 présente les résultats des essais de traitement sur le sol contaminé de type E.

**Tableau 61 Résultats d'analyses des essais de traitement**

# Échantillon	Granulométrie	Essai #1		Essai #2	
		Huiles et graisses minérales (mg/kg)	% Déc.	Huiles et graisses minérales (mg/kg)	% Déc.
S1	Toutes les fractions	8 800	---	8 650	---
S2	>12,7 mm	1 830	79 %	500	94 %
S3	12,7 mm >S3 >3,2 mm	1 230	86 %	1 650	81 %
S4	3,2 mm >S4 >44 µ	2 450	72 %	2 100	76 %
S5	3,2 mm >S5 >1,6 mm (1 <sup>er</sup> essai) 3,2 mm >S5 >0,84 mm (2 <sup>e</sup> essai)	2 070	76 %	1 890	78 %
S6	1,6 mm >S6 >44 µ (1 <sup>er</sup> essai) 0,84 mm >S6 >44 µ (2 <sup>e</sup> essai)	2 450	72 %	1 290	85 %
S10	>44 µ	1 990	77 %	1 735	80 %
B	<44 µ	---	---	48 000	-455 %
E1	---	5*	---	12*	---
E2	---	---	---	1*	---

\* mg/l  
 Critère C = 5 000 mg/kg  
 Critère B = 1 000 mg/kg

**7.6.4 Efficacité du traitement.** - De façon générale, on observe de meilleurs résultats pour le deuxième essai. Une température de l'eau plus élevée et un rythme d'alimentation plus lent ont pu contribuer à l'obtention de meilleurs résultats.

À l'exception de la fraction S2, le procédé a permis d'atteindre des niveaux de contamination inférieurs à 2000 mg/kg mais supérieurs au critère B. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus au cours de la deuxième phase de développement.

**7.6.5 Recyclage de l'eau.** - Le tableau 62 présente les concentrations et les dosages du sulfate d'aluminium, utilisé comme coagulant, et du lait de chaux ajoutés à l'eau usée à l'entrée de l'unité de décantation.

**Tableau 62 Dosage des coagulants**

	Concentration	Dosage
sulfate d'aluminium (Alun)	48,3 %	7,5 l/h
Lait de chaux hydratée	5 %	13 l/h

Une excellente décantation de la matière en suspension a été observée dans les premières sections du décanteur.

Les résultats d'analyses de l'eau décantée (E1) indiquent une très faible concentration d'huiles et graisses minérales avec des résultats de 5 et 12 mg par litre. Une teneur de un milligramme par litre mesurée sur l'échantillon prélevé à la sortie de l'unité de filtration (E2) démontre l'efficacité des équipements de filtration de l'eau utilisée.

**7.6.6 Boues générées.** - On observe une forte concentration des huiles et graisses minérales dans la boue avec une teneur de 4,8 %.

**7.6.7 Bilan de masse.** - Le tableau 63 présente les résultats du bilan de masse des essais de traitement.

**Tableau 63 Bilan de masse des essais de traitement**

	Sol non traité S1	Sol traité S10	Eau E	Boue B	Bilan	
					Total récupéré	Rendement
Volume (litres)	8 000	7 300	24 000	1 170	8 470	106 %
Poids humide (kg)	14 700	13 600	---	---	---	---
% Eau	8,5 %	8,5 %	---	34 %	---	---
Poids sec (kg)	13 450	12 444	---	1 294	13 738	102 %
Teneur en huiles et graisses minérales (mg/kg)	8 724	1 863	8,5*	48 000	---	---
Huiles et graisses minérales (kg)	117,35	23,18	0,2	62,11	85,49	73 %

\* mg/l

Le calcul du bilan de masse donne un rendement de récupération de 106 % pour les volumes et de 102 % pour le poids calculé sur une base sèche.

La boue générée représente 9,6 % de la masse de sol traité calculée sur une base sèche. Ce résultat est légèrement supérieur aux prévisions de 8 % obtenues à partir des résultats de l'essai de granulométrie.

Compte tenu d'une marge d'erreur de 30 % sur les résultats d'analyses, le rendement de 73 % pour les huiles et graisses minérales est satisfaisant.

**7.6.8 Recommandations pour la démonstration.** - Le tableau 64 présente les conditions d'opération recommandées pour l'étape de démonstration.

**Tableau 64 Conditions d'opération recommandées pour l'étape de démonstration**

Pression du réacteur #1	34,5 bars
Pression du réacteur #2	69 bars
T° de l'eau	95°C
Tamis de préparation	1,27 mm
Tamis de rinçage #1 (haut)	3,2 mm
Tamis de rinçage #1 (bas)	44 µ
Tamis de rinçage #2 (haut)	0,84 mm
Tamis de rinçage #2 (bas)	44 µ
Capacité de production	1 m <sup>3</sup> /h

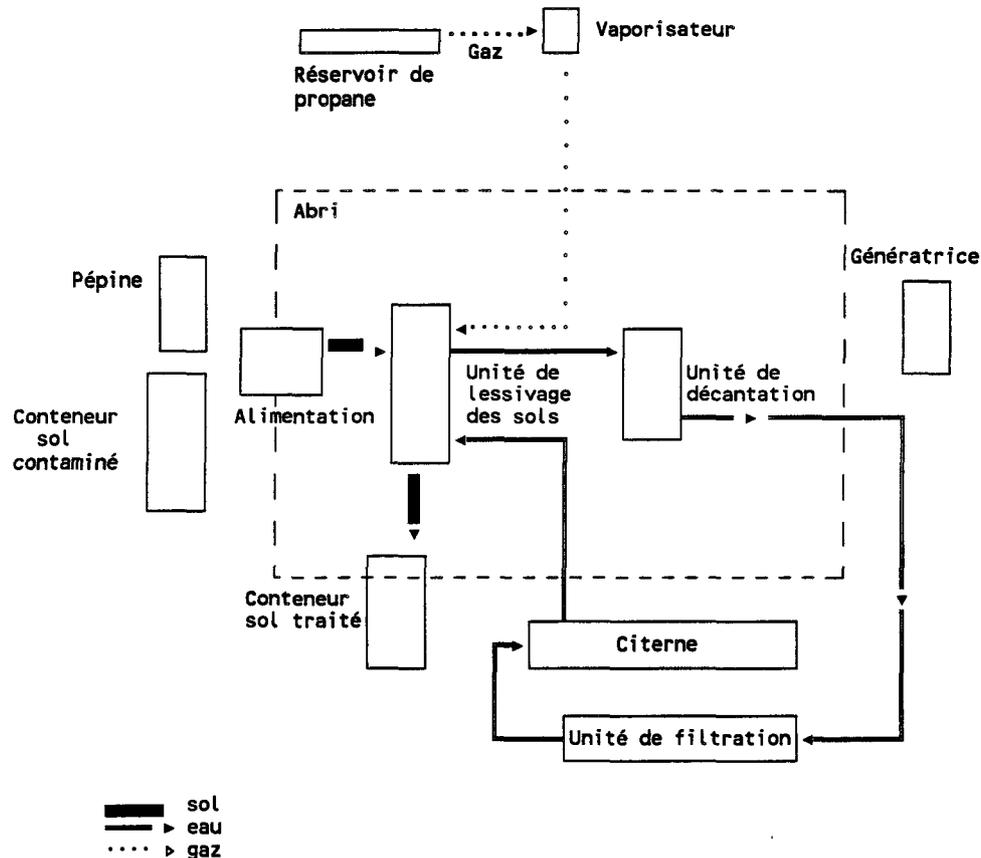
Les essais ont démontré qu'un rythme d'alimentation réduit à environ un mètre cube à l'heure a permis l'obtention de meilleurs résultats.

Étant donné la grande proportion de matériel de fine granulométrie, une maille de 0,84 mm est recommandée sur le tamis de rinçage #2 de façon à obtenir une meilleure répartition du matériel entre les deux étapes du tamis.

## 7.7 Démonstration

**7.7.1 Mobilisation des équipements.** - La démonstration de la technologie sur le terrain s'est déroulée du 13 octobre 1992 au 2 novembre 1992. Les équipements ont

été mobilisés sur le site les 13 et 14 octobre 1992. La figure 18 présente un schéma de l'aménagement de l'aire réservée à la réalisation de la démonstration.



**Figure 18 Aménagement du site de la démonstration**

**7.7.2 Conditions d'opération.** - Les conditions d'opération recommandées suite aux essais de traitement ont été observées (voir tableau 64). Quinze séries d'échantillons ont été prélevées, soit un échantillon composite pour chaque portion de cinq mètres cubes de sol traité.

**7.7.3 Résultats d'analyses.** - Les tableaux 65, 66 et 67 présentent les résultats détaillés obtenus au cours de la démonstration. De façon à obtenir des données plus précises sur la teneur en contaminant du matériel introduit dans le procédé, les

échantillons S1 et S10 (entrée du mélangeur et ensemble des fractions récupérées à la sortie de l'unité) ont été tamisés à quatre millimètres et chacune des deux fractions a été analysée séparément.

Les tableaux 65 et 66 présentent les valeurs calculées de S1 et S10 à partir des résultats d'analyses obtenus sur chacune des fractions en tenant compte de leur proportion et de leur teneur en eau.

**Tableau 65 Résultats d'analyses des échantillons S1**

# Échantillon	S1-A (>4 mm)			S1-B (<4 mm)			S1 calculé	
	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)	Proportion (humide) (%)	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)	Proportion (humide) (%)	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)
12-1-E-S1	3 700	4,0	56,3	5 500	7,2	43,7	4 472	5,4
12-2-E-S1	1 800	2,1	53,6	7 500	6,7	46,4	4 376	4,2
12-3-E-S1	3 300	3,0	51,3	6 500	7,3	48,7	4 822	5,1
12-4-E-S1	2 900	3,1	72,5	10 000	8,0	27,5	5 780	4,4
12-5-E-S1	7 300	3,9	69,6	11 000	7,0	30,4	8 399	4,8
12-6-E-S1	3 500	3,6	64,7	9 100	7,3	35,3	5 427	4,9
12-7-E-S1	5 800	2,3	66,6	8 700	7,3	33,4	6 735	4,0
12-8-E-S1	2 900	4,7	75,5	8 600	8,8	24,5	4 251	5,7
12-9-E-S1	3 400	5,2	72,8	8 400	7,8	27,2	4 732	5,9
12-10-E-S1	3 000	3,2	66,2	9 900	7,2	33,8	5 267	4,6
12-11-E-S1	2 700	4,0	76,4	6 500	8,6	23,6	3 564	5,1
12-12-E-S1	3 700	4,3	74,5	8 500	9,1	25,5	4 878	5,5
12-13-E-S1	2 900	5,4	69,9	9 800	9,0	30,1	4 921	6,5
12-14-E-S1	3 100	3,2	65,7	9 100	8,6	34,3	5 092	5,4
12-15-E-S1	3 600	4,9	78,7	12 000	9,9	21,3	5 314	6,0
Moyenne	3 573	3,8	67,6	8 740	8,0	32,4	5 202	5,2

**Tableau 66 Résultats d'analyses des échantillons S10**

# Échantillon	S10-A (>4 mm)			S10-B (<4 mm)			S10 calculé	
	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)	Proportion (humide) (%)	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)	Proportion (humide) (%)	HetG min. (mg/kg)	Teneur en eau (%)
12-1-E-S10	500	2,8	69,4	1 900	16,8	30,6	884	7,1
12-2-E-S10	1 900	3,7	56,7	920	17,1	43,3	1 492	6,5
12-3-E-S10	2 100	5,6	46,8	2 100	17,1	53,2	2 100	11,7
12-4-E-S10	2 700	10,6	62,4	1 800	16,4	37,6	2 377	12,8
12-5-E-S10	2 300	3,0	53,8	2 200	9,4	46,2	2 255	5,9
12-6-E-S10	1 900	2,8	77,7	2 500	14,9	22,3	2 020	5,5
12-7-E-S10	2 600	2,7	65,7	1 400	16,7	34,3	2 228	7,5
12-8-E-S10	2 100	2,1	65,4	2 300	16,6	34,6	2 161	7,1
12-9-E-S10	1 100	3,4	65,6	2 000	19,8	34,4	1 373	9,0
12-10-E-S10	665	3,1	69,7	1 900	16,9	30,3	1 000	7,3
12-11-E-S10	1 300	2,3	73,0	1 300	13,7	27,0	1 300	5,4
12-12-E-S10	1 800	2,8	70,3	1 000	15,1	29,7	1 585	6,5
12-13-E-S10	1 700	5,2	65,4	2 050	14,9	34,6	1 814	8,6
12-14-E-S10	1 200	2,5	58,4	2 100	18,1	41,6	1 536	9,0
12-15-E-S10	3 200	8,1	59,2	2 500	15,6	40,8	2 930	11,2
Moyenne	1 804	4,0	64,0	1 865	15,9	36,0	1 804	8,1

**Tableau 67 Résultats d'analyses de la démonstration**

# Essai	HUILES ET GRAISSES MINÉRALES (mg/kg)						
	S1 * Sol non traité	S2 > 12,7 mm	S3 12,7 mm > S3 > 3,2 mm	S4 3,2 mm > S4 > 44 $\mu$	S5 3,2 mm > S5 > 0,84 mm	S6 0,84 mm > S6 > 44 $\mu$	S10 * S2 + S3 + S5 + S6
12-1-E	4 472	3 400	2 500	2 400	2 100	1 600	884
12-2-E	4 376	2 000	1 700	2 900	2 300	1 600	1 492
12-3-E	4 822	540	3 000	2 200	2 100	1 400	2 100
12-4-E	5 780	580	2 700	3 100	3 000	1 600	2 377
12-5-E	8 399	440	3 000	2 900	2 800	2 200	2 255
12-6-E	5 427	1 700	2 400	2 700	2 500	2 000	2 020
12-7-E	6 735	4 100	3 000	2 700	3 000	2 100	2 228
12-8-E	4 251	1 700	2 500	3 100	3 200	2 400	2 161
12-9-E	4 732	2 700	2 800	3 100	3 000	2 200	1 373
12-10-E	5 267	<100	2 800	2 500	2 800	1 900	1 000
12-11-E	3 564	190	2 700	2 700	2 800	1 500	1 300
12-12-E	4 878	1 500	2 500	2 500	2 500	1 200	1 585
12-13-E	4 921	400	2 700	3 600	3 000	1 600	1 814
12-14-E	5 092	660	960	3 100	3 000	2 400	1 536
12-15-E	5 314	1 600	3 100	3 900	2 600	2 500	2 930
Moyenne	5 202	1 434	2 557	2 893	2 713	1 880	1 804

\* Résultats calculé à partir des données des tableaux 65 et 66

Le tableau 68 présente les résultats obtenus au cours de la démonstration à partir de la moyenne des 15 résultats d'analyses effectuées pour chaque type d'échantillon.

**Tableau 68 Bilan des résultats d'analyses de la démonstration**

# Échantillon	Granulométrie	Huiles et graisses minérales		% Décontamination	
		Teneur* (mg/kg)	Écart type	VS S1 calculé	VS S1B
S1A	>4 mm (67,6 %)	3 573	1 286	---	---
S1B	<4 mm (32,4 %)	8 740	1 680	---	---
S1 calculé	Toutes les fractions	5 202	1 160	---	---
S2	>12,7 mm	1 434	1 171	72 %	82 %
S3	12,7 mm >S3 >3,2 mm	2 557	541	51 %	70 %
S4	3,2 mm >S4 >44 µ	2 893	434	44 %	66 %
S5	3,2 mm >S5 >1,6 mm	2 713	336	48 %	68 %
S6	0,84 mm >S6 >44 µ	1 880	395	64 %	78 %
S10A	>4 mm (64,0 %)	1 804	728	65 %	79 %
S10B	4 mm >S10B >44 µ (36,0 %)	1 865	480	64 %	79 %
S10 calculé	>44 µ	1 826	541	65 %	79 %
B	<44 µ	39 500	---	-659 %	-352 %
E1	---	8,7**	11,2	---	---

\* Moyenne de 15 échantillons  
\*\* mg/l

Critère C = 5 000 mg/kg  
Critère B = 1 000 mg/kg

#### 7.7.4 Efficacité du traitement. -

7.7.4.1 FRACTION S2 (>12,7 mm). - Une teneur moyenne de 1434 mg/kg d'huiles et graisses minérales a été mesurée pour les échantillons de la série S2. Un écart type de 1171 pour une valeur de 1434 montre une grande variabilité dans les résultats. Les résultats élevés sont dus à la grande proportion de matériel grossier qui a occasionné une surcharge de l'étage supérieur du tamis de préparation empêchant un rinçage efficace de la fraction grossière. Ce problème peut être solutionné en surdimensionnant le tamis de préparation afin de pouvoir s'adapter à la nature du sol traité.

**7.7.4.2 FRACTION S3 (12,7 mm > S3 > 3,2 mm).** - Pour la fraction S3, une teneur moyenne de 2557 mg/kg a été obtenue. Ce résultat correspond à une efficacité de 51 % par rapport à S1 et de 70 % par rapport à S1B (< 4 mm). Les résultats obtenus précédemment sur la fraction S3 démontrent que de meilleures valeurs peuvent être obtenues sur le matériel grossier, ce qui indique qu'une deuxième phase de lessivage et de rinçage devrait être effectuée sur cette fraction.

**7.7.4.3 FRACTION S4 (3,2 mm > S4 > 44 µ).** - La première phase de lessivage de la fraction moyenne a permis d'abaisser la contamination à 2893 mg/kg pour une efficacité de 44 % par rapport à S1 et de 66 % par rapport à S1B (< 4 mm).

**7.7.4.4 FRACTION S5 (3,2 mm > S5 > 0,84 mm).** - Une teneur moyenne de 2713 mg/kg a été obtenue sur la fraction S5 correspondant à une efficacité de 48 % par rapport à S1 et de 68 % par rapport à S1B (< 4 mm). Une mauvaise évacuation de l'eau sur le tamis de 20 mèches peut être à l'origine des mauvais résultats obtenus. Le retour à une maille de 1,6 mm est recommandé.

**7.7.4.5 FRACTION S6 (0,84 mm > S6 > 44 µ).** - Une valeur moyenne de 1880 mg/kg pour la fraction S6 se situe à mi-chemin entre les deux résultats obtenus au cours de l'étape de rodage (1290 et 2450 mg/kg) pour une efficacité de 78 % par rapport à S1B (< 4 mm).

**7.7.4.6 ENSEMBLE DES FRACTIONS (S10 > 44 µ).** - La moyenne des valeurs de S10 calculées de 1804 mg/kg correspond à une efficacité de 64 % par rapport à S1 calculé. Pour la partie fine de l'échantillon (S10B < 4 mm), les résultats d'analyses donnent une moyenne de 1865 mg/kg pour une efficacité de 79 % par rapport à S1B (< 4 mm).

Dans l'ensemble, le procédé a permis d'abaisser la teneur en huiles et graisses minérales en dessous de 2000 mg/kg mais au-dessus du critère B. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus au cours des étapes précédentes pour du matériel contenant une grande proportion de particules fines.

**7.7.5 Capacité de production.** - Le tableau 69 présente les mesures de volume et de poids du sol contaminé traité et la capacité de production de l'unité au cours de la démonstration.

**Tableau 69 Capacité de production**

# Conteneur	Date de prélèvement	Volume (m <sup>3</sup> )	Poids (t.m.)	Heures d'opérations	Capacité de production	
					m <sup>3</sup> /h	t/h
1	15 oct. 1992	15	26,3	14,0	1,07	1,88
2	20 oct. 1992	17	29,7	14,25	1,19	2,08
3	22 oct. 1992	13	20,6	11,5	1,13	1,79
4	26 oct. 1992	15	25,4	14,5	1,03	1,75
5	29 oct. 1992	15	27,9	13,75	1,09	2,03
TOTAL	---	75	129,9	68,0	1,10*	1,91*
* Moyenne						

Au total, un poids de 129,9 tonnes métriques de sol contaminé a été traité pour une densité moyenne de 1,73 tonne métrique par mètre cube de matériel. Une capacité de production moyenne de 1,10 mètre cube à l'heure a été mesurée comparativement à une production de 1,0 mètre cube à l'heure recommandée après les essais de traitement.

**7.7.6 Recyclage de l'eau.** - Comme il a été observé au cours des étapes précédentes, on note une faible concentration d'huiles et graisses minérales dans l'eau après décantation de la matière en suspension avec une teneur moyenne de 8,7 mg par litre.

**7.7.6.1 ANALYSES DES FILTRES.** - Le tableau 70 présente les données recueillies sur les différents filtres de l'unité de filtration de l'eau.

Les valeurs élevées en huiles et graisses minérales obtenues sur les filtres au sable et anthracite, ainsi que sur les oléophiles peuvent s'expliquer par l'accumulation de particules fines de sol contenant une concentration élevée de contaminants.

**Tableau 70 Résultats d'analyses des filtres**

# Filtres	Milieu filtrant	% Eau	Densité (g/ml)	Huiles et graisses minérales (mg/kg)
1-2	Sable et anthracite	22,8	0,90	13 000
3-4	Oléophile	46,7	0,57	19 000
5-6	Charbon activé	34,0	0,48	5 000

**7.7.6.2 ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS.** - Une première vidange des boues du décanteur a été effectuée après le traitement de 30 mètres cubes de matériel. La deuxième vidange des boues a été effectuée à la fin de l'étape de démonstration, après le traitement de 45 mètres cubes supplémentaires de matériel.

Un lavage des filtres à contre courant a été nécessaire après le traitement de 45 mètres cubes de sol. Il a nécessité un volume de 7000 litres d'eau. Cette eau de lavage a été recyclée par les installations et injectée dans le procédé de façon à compenser une perte de 9000 litres d'eau observée pendant la durée des opérations.

### **7.7.7 Boues générées. -**

**7.7.7.1 ANALYSES DES BOUES.** - Le tableau 71 présente les données sur les boues générées au cours de l'étape de démonstration.

**Tableau 71 Boues générées**

# Échantillon	Huiles et graisses minérales (mg/kg)	% Eau
12-B	36 000	32,9
12-B	43 000	31,7
Moyenne	39 500	32,3

Comme il a été observé de façon générale au cours du projet, les huiles et graisses ont tendance à se concentrer dans la fraction fine du matériel. Les données indiquent un taux d'humidité moyen de 32,3 % correspondant aux données recueillies au cours des étapes précédentes.

**7.7.7.2 ÉLIMINATION DES BOUES POUR L'ENSEMBLE DU PROJET.** - L'ensemble des boues générées au cours des différentes étapes du projet a été éliminé à la fin de l'étape de démonstration. Bien que les essais de centrifugation aient été concluants, la faible quantité de boue à éliminer ne justifiait pas la mobilisation d'une centrifugeuse.

Les boues ont été éliminées dans la cellule de Cintec Environnement de Ville LaSalle. Le procédé de lessivage étant en partie un procédé de séparation, les boues peuvent être considérées comme la fraction fine du sol contaminé. L'élimination, autorisée par le Ministère de l'Environnement du Québec, a été effectuée le 3 décembre 1992. Une solidification, effectuée par le mélange de bran de scie à la boue, a été nécessaire afin de rendre le matériel pelletable et ainsi rencontrer les critères d'acceptabilité du site d'élimination. Le mélange a été effectué dans des proportions de 10 % de bran de scie et de 90 % de boue. Au total, 36,32 tonnes métriques de matériel ont été éliminées.

**7.7.8 Bilan de masse.** - Le tableau 72 présente les résultats du calcul du bilan de masse de la démonstration sur le terrain.

Les résultats du calcul du bilan de masse donne un rendement de récupération de 108 % pour le volume et de 102 % pour le poids calculé sur une base sèche. Les données indiquent une perte de poids de 11 % comparativement à 9,6 % au cours des essais de traitement.

Pour les huiles et graisses minérales, le bilan de masse donne un rendement de récupération de 136 %. Compte tenu de la précision des données, les résultats sont satisfaisants.

**Tableau 72 Bilan de masse de la démonstration**

	Sol non traité S1	Sol traité S10	Eau E	Boue B	Filtres F	Bilan	
						Total récupéré	Rendement
Volume (m <sup>3</sup> )	75	66	24	15,2	6	81,2(1)	108 %
Poids humide (t)	129,9	119,4	---	23,4	3,90(2)	---	---
% Eau	5,2 %	8,1 %	---	32,3 %	34,5 %(3)	---	---
Poids sec (t)	123,1	109,7	---	15,8	2,63(2)	125,5(1)	102 %
Teneur en huiles et graisses minérales (mg/kg)	5 202	1 804	8,7(4)	39 500	12 330(3)	---	---
Huiles et graisses minérales (kg)	640,4	197,9	0,209	624,1	49,9	872,1(5)	136 %

(1) S10+B  
(2) Total des filtres  
(3) Moyenne des filtres  
(4) mg/l  
(5) S10+E1+B+F

## **7.8 Évaluation du bruit**

La firme Eco-Recherches de Pointe-Claire a été mandatée afin de procéder à une évaluation du niveau de bruit émis par l'unité de traitement des sols en opération. Une première série de mesures a été effectuée le 9 octobre 1992 au cours des essais de traitement qui se sont déroulés aux installations de Géocycle Inc. à Laval, à l'intérieur du bâtiment. La deuxième série de mesures a été réalisée le 21 octobre 1992 à St-Canut sur le site de la démonstration. Une copie du rapport est présentée en annexe.

À l'exception du poste du préposé à l'alimentation, où le niveau global se situe au niveau d'intervention de 85 dBA, les autres postes de travail montrent des niveaux mesurés supérieurs à 90 dBA et une protection auditive est nécessaire pour les travailleurs. En opération sur le terrain, une attention particulière devra être portée afin de ne pas dépasser les niveaux recommandés de 70 dBA à la limite du terrain.

Pour la construction d'une unité à l'échelle commerciale, l'isolation des moteurs principaux et des pompes devra être considérée afin de réduire au minimum les niveaux de bruit émis par l'unité de traitement des sols.

## **7.9 Entretien des équipements**

Les toiles des étages inférieurs des tamis de rinçage sont des éléments présentant une usure et nécessitent des changements périodiques dus à des déchirures. Chaque cadre représente la moitié de la surface des tamis de rinçage. Au cours de la démonstration, il a fallu remplacer trois cadres sur le tamis de rinçage #2 et deux cadres sur le tamis de rinçage #1. Chaque changement de cadre entraîne un arrêt des opérations pour une durée d'environ une heure.

## **7.10 Visiteurs**

Le tableau 73 présente les organismes qui ont visité les installations dans le cadre des essais de traitement et de la démonstration.

**Tableau 73 Visiteurs**

---

Centre Saint-Laurent (Environnement Canada)  
Menviq Direction régionale Laval Laurentides  
Ministère de l'Énergie et des ressources  
Hydro-Québec  
Ville de Mirabel, Service de l'environnement  
STCUM  
AMF  
Canadien National  
CP Rail  
Bell Canada  
Esso  
Shell  
Ultramar  
Sergaz

---

## **8            CONTRÔLE ANALYTIQUE**

Les analyses chimiques effectuées dans le cadre du projet ont été réalisées selon les méthodes de conservation, les techniques analytiques et les mesures de contrôle reconnues par le Menviq. Pour les deux phases de développement, le laboratoire ECO-CNFS a été utilisé pour l'ensemble des échantillons et Novalab comme laboratoire de contrôle. Pour les analyses effectuées dans le cadre de la démonstration, Novalab a été utilisé comme laboratoire principal et ECO-CNFS comme laboratoire de contrôle.

La direction des laboratoires du Menviq a participé au contrôle analytique du projet en réalisant des analyses sur des échantillons fournis par Géocycle Inc. et en fournissant des échantillons de contrôle aux laboratoires.

Plusieurs facteurs contribuent à l'imprécision des données analytiques:

- la représentativité de l'échantillon fournit au laboratoire malgré les précautions prises lors de l'échantillonnage (multiples points de prélèvement et homogénéisation);
- la représentativité de la fraction de l'échantillon utilisée par le laboratoire. De 10 à 20 grammes de sol sont utilisés pour une analyse des huiles et graisses minérales;
- la granulométrie du matériel et la nature de la matrice. Les échantillons des granulométries grossières (S2, S3, S5) sont plus difficiles à homogénéiser et moins représentatifs que les échantillons des granulométries plus fines (S4, S6);
- les manipulations en laboratoire malgré les précautions de conservation et de préparation des échantillons;
- la teneur en eau des échantillons dont les résultats montrent une variabilité appréciable pour des échantillons traités et prélevés dans les mêmes conditions. Les résultats d'analyses sont exprimés sur une base sèche et le calcul tient compte de la teneur en eau.

Dans le cadre du contrôle des analyses d'huiles et graisses minérales dans les sols, le Menviq suggère qu'une variabilité maximale de 30 à 40 % serait l'objectif à atteindre.

### 8.1 Méthodes analytiques

Les tableaux 74 et 75 présentent les méthodes analytiques employées par les laboratoires pour la réalisation des analyses de sol et d'eau.

**Tableau 74 Méthodes d'analyses pour les échantillons de sol**

Paramètre	Méthode
Huiles et graisses minérales	STM-5520 C+D+F
BPC	EPA 8080
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	EPA 624
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	EPA 625 + 8270
Hydrocarbures halogénés	EPA 624
Composés phénoliques	EPA 625 + 8270
Métaux	Absorption et émission atomique
Granulométrie	Tamisage et sédimentation

**Tableau 75 Méthodes d'analyses pour les échantillons d'eau**

Paramètre	Méthode
Azote Kjeldhal	STM 4500 N org B
Couleur vraie	STM 4500 NH3 D+H
Dureté totale	STM 2120 B
Solide en suspension	STM 3120 B
Demande chimique en oxygène	STM 2540 D
pH	STM 5220 C
Nitrates (N)	STM 4500 H+A
Phosphates (P)	STM 4500 NO3 H
Sulfates	STM 4500 P B+E
Sulfures totaux	STM 4500 SO4 E
Calcium, chrome, cuivre, fer, manganèse, plomb, zinc	STM 4500 S2 D
Mercure	STM 3120 et 3111
Huiles et graisses minérales	STM 5520 C+F
Huiles et graisses totales	STM 5520 C
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	EPA 624
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	EPA 625
BPC	Menviq 89,07/403 BPC 1,2
Composés phénoliques	STM 5530 D

## 8.2 Contrôle interne des laboratoires

Les laboratoires utilisés assurent un contrôle interne comprenant la calibration des courbes à tous les jours, l'utilisation de blanc, la réalisation de duplicatas et l'analyse d'ajouts dosés ou d'échantillons standards commerciaux.

## 8.3 Contrôle analytique des huiles et graisses minérales pour les phases I et II de développement

**8.3.1 Mesures de contrôle.** - Le tableau 76 présente les mesures de contrôle analytique pour les analyses d'huiles et graisses minérales au cours des phases I et II de développement de la technologie.

**Tableau 76 Mesures de contrôle analytique, développement phases I et II**

Type d'échantillon	Laboratoire d'analyse	Nombre d'échantillons
Échantillons de Géocycle analysés	ECO-CNFS	350
Échantillons de Géocycle contrôlés par un 2 <sup>e</sup> laboratoire	Novalab	35
Échantillons de Géocycle contrôlés par 2 laboratoires et le Menviq	ECO-CNFS, Novalab, Menviq	2
Échantillons préparés par le Menviq	ECO-CNFS	8
Échantillons préparés par le Menviq	Novalab	4

Au total, 350 échantillons de sol ont été analysés pour les huiles et graisses minérales par ECO-CNFS. Trente-cinq de ces échantillons ont été contrôlés par Novalab. Deux échantillons ont été analysés par ECO-CNFS, Novalab et les laboratoires du Menviq. Le Menviq a également fourni huit échantillons de contrôle à ECO-CNFS et quatre échantillons de contrôle à Novalab.

**8.3.2 Contrôle par un deuxième laboratoire.** - Le tableau 77 présente les résultats obtenus dans le cadre du contrôle analytique par le deuxième laboratoire (Novalab).

**Tableau 77 Contrôle effectué par un deuxième laboratoire (Novalab)**

Nombre d'échantillons analysés par Novalab	35
Écart moyen vs ECO-CNFS	20,8 % (35 éch.) 14,6 % (31 éch.)
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	31 sur 35

Le contrôle analytique effectué par Novalab montre d'excellents résultats avec un écart moyen de 14,6 % sur 31 échantillons.

**8.3.3 Échantillons préparés par le Menviq.** - Le tableau 78 présente les résultats obtenus sur les échantillons préparés par le Menviq.

**Tableau 78 Échantillons de contrôle préparés par le Menviq**

	ECO-CNFS	Novalab
Nombre d'échantillons analysés	8	4
Écart moyen vs valeur attendue (Menviq)	31 % (8 éch.) 18 % (5 éch.)	19 % (4 éch.)
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	5 sur 8	4 sur 4

Pour les échantillons de contrôle fournis par le Menviq, neuf résultats sur douze ont donné des valeurs satisfaisantes.

**8.3.4 Échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq.** - Le tableau 79 présente les résultats obtenus sur les échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq.

**Tableau 79 Échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq**

	ECO-CNFS	Novalab	Menviq
Nombre d'échantillons analysés	2	2	2
Écart moyen vs ECO-CNFS	---	12 %	14 %
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	2 sur 2	2 sur 2	2 sur 2

Les deux échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq montrent une excellente reproductibilité des résultats.

## **8.4 Contrôle analytique des huiles et graisses minérales au cours de la démonstration**

**8.4.1 Mesures de contrôle.** - Le tableau 80 présente les mesures de contrôle analytique pour les analyses d'huiles et graisses minérales au cours de la démonstration de la technologie.

**Tableau 80 Mesures de contrôle analytique, démonstration**

Type d'échantillon	Laboratoire d'analyse	Nombre d'échantillons
Échantillons de Géocycle analysés	Novalab	135
Échantillons de Géocycle contrôlés par un 2 <sup>e</sup> laboratoire et par le Menviq	ECO-CNFS et Menviq	14
Échantillons dosés	Novalab	20
Échantillons préparés par le Menviq	Novalab	12

Pour un total de 135 échantillons de sol analysés par Novalab, 14 échantillons ont été contrôlés par ECO-CNFS et par le Menviq. De plus, 20 échantillons dosés et 12 échantillons de contrôle préparés par le Menviq ont été analysés par Novalab.

**8.4.2 Contrôle par un deuxième laboratoire et par le Menviq.** - Le tableau 81 présente les résultats du contrôle analytique effectué par le deuxième laboratoire et par le Menviq au cours de la démonstration.

**Tableau 81 Contrôle effectué par un deuxième laboratoire (ECO-CNFS) et par le Menviq**

	ECO-CNFS	Menviq
Nombre d'échantillons analysés	14	14
Écart moyen vs Novalab	44,4 %	34,9 %
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	9 sur 14	10 sur 14
Écart moyen vs Novalab (échantillon >3,2 mm)	81,8 % (5 éch.)	67,8 % (5 éch.)
Nombre d'échantillons >3,2 mm donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	1 sur 5	2 sur 5
Écart moyen vs Novalab (échantillon <3,2 mm)	23,6 % (9 éch.) 18,7 % (8 éch.)	16,6 % (9 éch.) 12,1 % (8 éch.)
Nombre d'échantillons <3,2 mm donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	8 sur 9	8 sur 9

Les résultats obtenus indiquent une mauvaise reproductibilité des résultats d'analyses pour les échantillons ayant une granulométrie supérieure à 3,2 mm avec des écarts moyens de 81,8 % pour ECO-CNFS et de 67,8 % pour le Menviq par rapport aux résultats de Novalab.

Pour les échantillons ayant une granulométrie inférieure à 3,2 mm, huit échantillons sur neuf ont donné des résultats satisfaisants avec des écarts moyens de 18,7 % pour ECO-CNFS et de 12,1 % pour le Menviq par rapport aux résultats de Novalab.

L'importance des variations observées est reliée à la nature des échantillons. Les fractions grossières de sol (S2, S3) correspondent à des granulométries élevées et sont peu représentatives des échantillons comparativement aux fractions plus fines (S4, S6).

Pour les fractions S2 (> 12,7 mm), les laboratoires ont utilisé 20 grammes de matériel au lieu de 10 grammes, utilisés normalement pour les analyses. On observe quand même de fortes variations des résultats dues à la faible surface de contact représentée par les cailloux par rapport à du matériel de fine granulométrie.

**8.4.3 Résultats des échantillons dosés.** - Le tableau 82 présente les résultats obtenus sur les analyses des échantillons dosés effectuées par Novalab. De l'huile minérale "Nujol" est utilisée pour la préparation des échantillons dosés.

**Tableau 82 Analyses des échantillons dosés**

Nombre d'échantillons analysés	20
% de recouvrement moyen	95 %
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	20 sur 20

L'analyse des échantillons dosés a donné d'excellents résultats avec des écarts maximum de 20 % et un recouvrement moyen de 95 %.

**8.4.4 Échantillons préparés par le Menviq.** - Le tableau 83 présente les résultats obtenus sur les échantillons de contrôle préparés par le Menviq et analysés par Novalab.

**Tableau 83 Échantillons de contrôle préparés par le Menviq**

Nombre d'échantillons analysés	12
Écart moyen vs valeur attendue (Menviq)	14,3 %
Nombre d'échantillons donnant un résultat satisfaisant (<30 % d'écart)	12 sur 12

L'analyse des échantillons fournis par le Menviq a donné d'excellents résultats par rapport aux valeurs attendues avec un écart moyen de 14,3 %.

#### **8.5 Conclusion sur le contrôle analytique des huiles et graisses minérales**

Les résultats obtenus au cours du contrôle analytique des huiles et graisses minérales indiquent que l'interprétation des résultats doit tenir compte de la granulométrie des échantillons. Une meilleure reproduction des résultats est observée sur les échantillons ayant une fine granulométrie. Le niveau de reproductivité visé devrait également tenir compte de la concentration en contaminants dans les échantillons. Une variabilité plus élevée est observée pour les échantillons à faible teneur en huiles et graisses comparativement aux échantillons à haute teneur. Compte tenu de ces facteurs, les mesures de contrôle analytique ont donné des résultats satisfaisants et démontrent la validité des résultats d'analyses obtenus dans le cadre du projet.

Une interprétation des résultats du contrôle analytique effectuée par un chimiste membre de l'Ordre des chimistes du Québec est présentée en annexe.

#### **8.6 Contrôle analytique des composés phénoliques**

Le tableau 84 présente les résultats du contrôle analytique effectué sur trois échantillons analysés par ECO-CNFS, Novalab et le Menviq.

**Tableau 84** Contrôle analytique des pentachlorophénols

# Échantillon	7-1-C-S4	7-2-C-S10	7-3-C-S3
<b>GRANULOMÉTRIE</b>			
	3,2 mm > S4 > 44 $\mu$	> 44 $\mu$	12,7 mm > S3 > 3,2 mm
<b>Laboratoire</b>	<b>Pentachlorophénol (mg/kg)</b>		
ECO-CNFS	74	130	<1
Novalab	420	151	13
Menviq	190	36	4,8
<b>Laboratoire</b>	<b>Écart</b>		
Novalab VS ECO-CNFS	+468 %	+16 %	+1 200 %
Menviq VS ECO-CNFS	+157 %	-72 %	+380 %
Menviq VS Novalab	-55 %	-76 %	-63 %
<b>Laboratoire</b>	<b>Récupération des étalons internes</b>		
ECO-CNFS 2,4,6 tribromophénol	65 %	109 %	27 %
Novalab D5, phénol	62 %	52 %	58 %
Trifluorométhyl-M-Crésol	65 %	61 %	62 %
Menviq D5, phénol	52 %	54 %	51 %
Trifluorométhyl-M-Crésol	59 %	54 %	51 %

De façon générale, on observe des écarts élevés entre les résultats obtenus des différents laboratoires pour les pentachlorophénols. Certains écarts peuvent être attribuables à la granulométrie de l'échantillon (S3 > 3,2 mm).



## **9 BILAN DE MASSE**

### **9.1 Méthodologie: Phase I du développement**

Au cours de la phase I du développement de la technologie, les mesures effectuées pour le calcul du bilan de masse consistait en la mesure des volumes de sol contaminé, sol traité, boue et eau usée et de l'analyse de leur teneur respective en contaminants. L'absence d'une unité de décantation permettant de récupérer l'ensemble des boues générées par le lessivage du matériel et le manque de données sur les poids et teneurs en eau du sol et de la boue, couplée à l'imprécision des données analytiques, n'ont pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants au cours de cette étape du projet.

### **9.2 Méthodologie: Phase II du développement et démonstration**

Dans le but d'obtenir de meilleurs résultats dans le calcul du bilan de masse, un protocole de calcul plus précis a été établi. La procédure comprend les éléments suivants:

- Mesure du volume (sol avant et après traitement, eau, boue, filtres);
- Mesure du poids (sol avant et après traitement, boue);
- Analyse des concentrations en contaminants (sol avant et après traitement, eau, boue, filtres);
- Mesure de la teneur en eau (sol avant et après traitement, boue, filtres);
- Mesure de la densité (filtres).

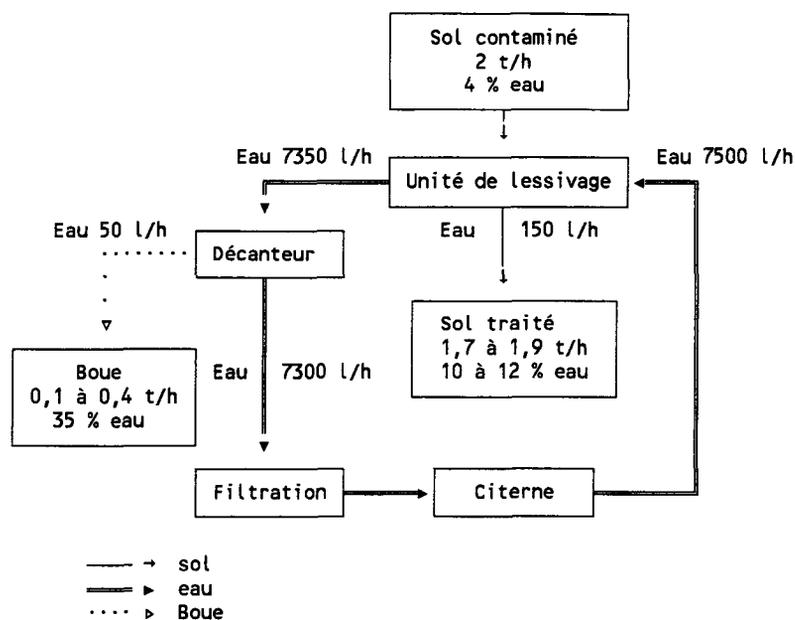
Le bilan de masse a été calculé sur une base sèche. Les poids de sol et de boue mesurés sur une base humide ont été corrigés à l'aide des teneurs en eau des échantillons. Les poids des différents types de filtres utilisés pour le recyclage de l'eau ont été calculés à partir du volume du filtre et de la densité du milieu filtrant.

Afin d'obtenir des données plus précises quant aux concentrations d'huiles et graisses dans le sol à l'entrée et à la sortie du procédé, un tamisage des échantillons à quatre millimètres a été effectué en laboratoire. Les proportions de chacune des fractions ainsi que leur concentration en contaminants et teneur en eau ont été mesurées. Le calcul des teneurs en huiles et graisses et en eau du sol à

l'entrée et à la sortie de l'unité de lessivage a été calculé à partir des données obtenues sur chacune des deux fractions granulométriques.

### 9.3 Bilan des débits

La figure 19 illustre les débits de sol, d'eau et de boue au cours de l'opération des équipements.



**Figure 19 Bilan des débits**

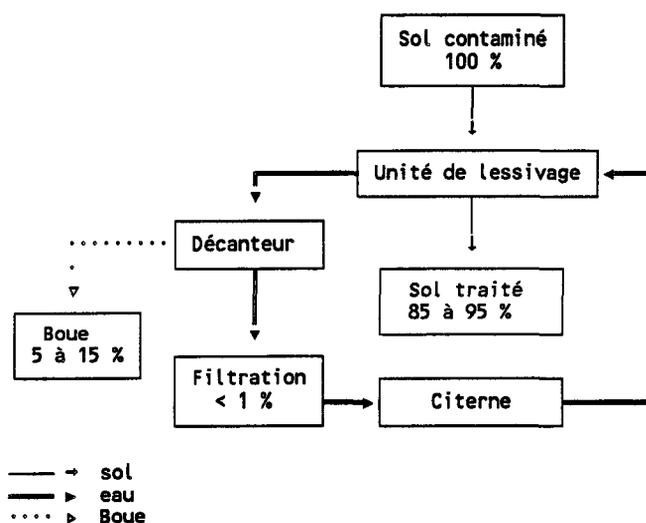
L'unité est alimentée à un rythme de deux tonnes à l'heure avec du matériel contenant en moyenne 4 % d'eau. À la sortie de l'unité de lessivage, le sol traité contient de 10 à 12 % d'eau. La quantité de sol récupéré (1,7 à 1,9 t/h) varie en fonction de la granulométrie du matériel traité. Les boues générées contiennent en moyenne 35 % d'eau. La quantité de boue générée (0,1 à 0,4 t/h) est inversement proportionnelle à la quantité de sol récupéré.

Le débit de l'eau de lessivage et de rinçage est d'environ 7500 litres à l'heure. L'augmentation de l'humidité dans le sol à la sortie de l'unité de traitement par rapport au sol à l'entrée correspond à une perte d'eau d'environ 150 litres à l'heure. L'absorption de l'eau par la boue générée correspond à une autre perte de

50 litres d'eau à l'heure. La consommation d'eau du procédé est d'environ 200 litres à l'heure, soit 100 litres par tonne de sol traité.

#### 9.4 Bilan de masse du sol traité

La figure 20 présente le bilan de masse pour le sol calculé sur une base sèche exprimé en pourcentage.



**Figure 20 Bilan de masse du sol traité**

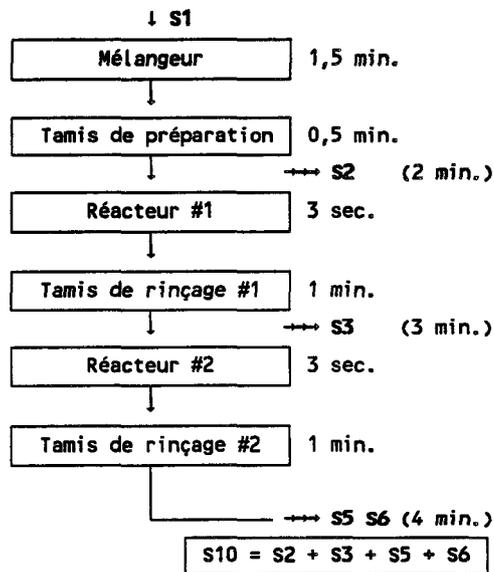
Le calcul du bilan de masse du sol a donné d'excellents résultats avec des rendements près de 100 % basés sur les poids secs de matériel récupéré.

Pour les volumes mesurés, les rendements se situent près de 110 %. Les particules fines étant contenues dans les interstices entre des particules de plus grosses granulométries, la perte de 5 à 15% de matériel fin n'engendre pas de réduction appréciable du volume du matériel traité. À l'opposé, la désagglomération du matériel dans le procédé contribue à l'augmentation du volume du sol.

Le taux de récupération de sol traité varie de 85 à 95 % en fonction de la granulométrie du matériel. De 5 à 15 % du matériel est récupéré sous forme de boue à la base de l'unité de décantation. En tenant compte d'une augmentation d'environ 30 % de la teneur en eau de la boue par rapport au sol contaminé, les quantités de boue générée représentent 6,5 à 20 % de la masse totale de sol traité.

Une faible quantité de particules fines de sol est récupéré au niveau des filtres et correspond à moins de 1 % du sol traité.

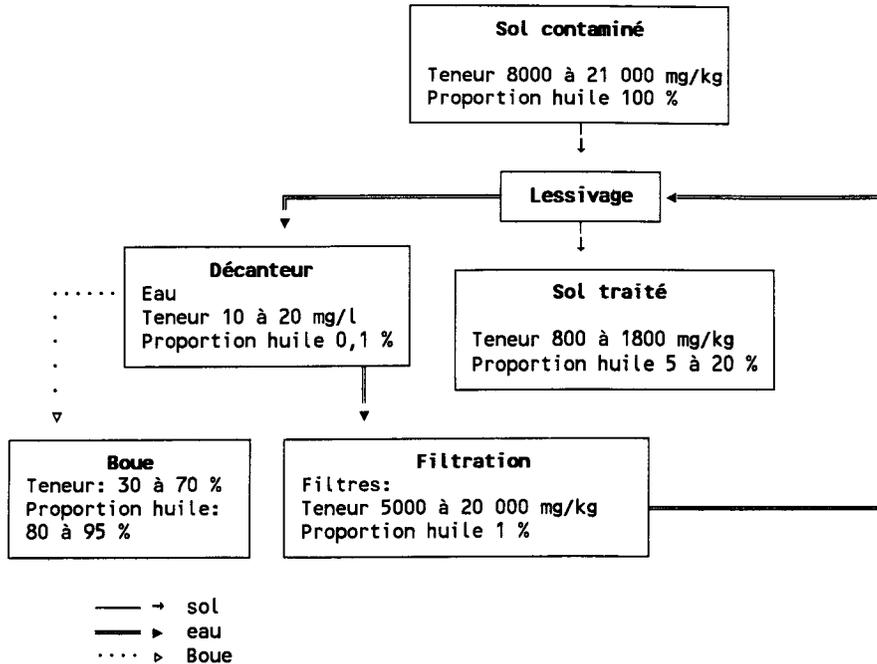
La figure 21 illustre les temps de séjour du matériel dans le système, en fonction de la granulométrie des particules de sol.



**Figure 21 Temps de séjour du matériel dans le procédé**

## 9.5 Bilan de masse des huiles et graisses minérales

La figure 22 illustre le bilan de masse des huiles et graisses minérales dans le procédé.



**Figure 22 Bilan de masse des huiles et graisses minérales**

Le calcul du bilan de masse des huiles et graisses minérales a donné des rendements de récupération des contaminants variant de 58 à 83 % avec une moyenne de 69 % pour la deuxième phase de développement. Pour la démonstration, un rendement de 136 % a été calculé. Les résultats obtenus sur le calcul du bilan de masse indiquent une forte concentration de contaminants (80 à 95 %) dans la boue avec des teneurs variant de 30 à 70 %. Une très faible proportion de l'huile présente dans le système (0,1 %) est retrouvée dans l'eau à la sortie de l'unité de décantation. Pour les milieux filtrants de l'unité de filtration de l'eau, les données correspondent à l'accumulation de l'huile après 75 heures d'opération de l'unité. Un lavage des filtres a été effectué à contre courant après les premières 45 heures d'opération.

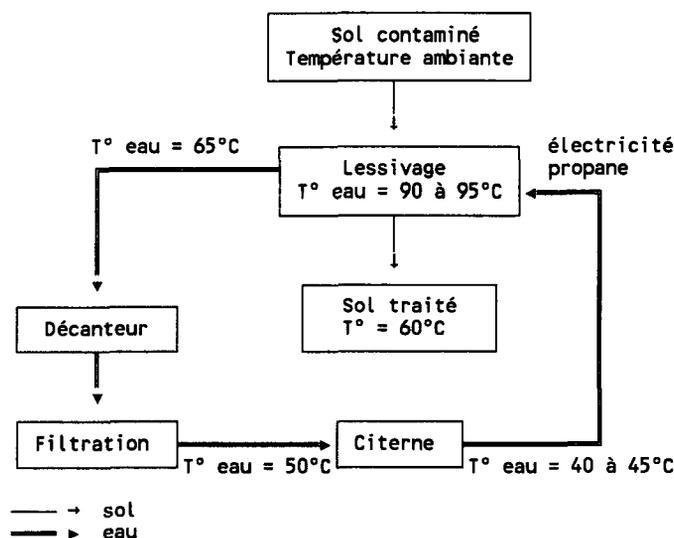
Compte tenu de la précision des données, les résultats obtenus sont satisfaisants.

## 9.6 Bilan de masse des composés phénoliques et des métaux

Les calculs de bilan de masse des composés phénoliques et des métaux effectués au cours de la deuxième phase de développement n'ont pas donné de résultats satisfaisants avec des rendements de récupération des contaminants variant de 40 à 200 %. Ces résultats sont attribuables à l'imprécision des données. De façon générale, comme pour les huiles et graisses minérales, on observe une concentration des contaminants dans la boue.

## 9.7 Bilan énergétique

La figure 23 présente le bilan énergétique du procédé.



**Figure 23 Bilan énergétique**

**9.7.1 Température de l'eau.** - L'unité de lessivage utilise de l'eau à une température de 90 à 95°C comparativement à une température de 40 à 45°C à la sortie de la citerne d'entreposage correspondant à la fin du processus de recyclage de l'eau. Les unités de chauffage de l'eau, fonctionnant au propane, doivent fournir un différentiel de température de l'eau de l'ordre de 50°C. La puissance totale de l'unité est de 1 007 920 watts. En opération en circuit fermé, 60 à 70 % de la puissance

totale est nécessaire au fonctionnement du procédé. La consommation de propane est d'environ 85 litres à l'heure, ce qui correspond à des coûts de 25,00 \$ l'heure ou de 12,50 \$ la tonne de sol traité.

**9.7.2 Consommation d'électricité.** - La consommation d'électricité représente des coûts de 5,00 \$ l'heure ou de 2,50 \$ la tonne de sol traité.

## **9.8 Conclusion sur le bilan de masse**

Les résultats des calculs du bilan de masse effectués dans le cadre du projet démontrent que les contaminants peuvent être concentrés dans la boue qui représente un volume réduit par rapport au volume de sol traité. Ces données indiquent que l'efficacité du procédé réside dans la séparation de la partie fine du sol qui contient la majeure partie des contaminants.



## 10 COÛTS D'OPÉRATION

Le calcul des coûts d'opération est basé sur 1300 heures de production par année. Les coûts ont été calculés pour des unités de traitement d'une capacité de production de deux, quatre et dix tonnes à l'heure.

### 10.1 Investissements

Le tableau 85 présente le détail des investissements. L'amortissement est réparti sur cinq ans.

**Tableau 85** *Détail des investissements*

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Mobilier	5 000 \$	5 000 \$	5 000 \$
Amortissement 20 %	1 000 \$	1 000 \$	1 000 \$
Ordinateur	5 000 \$	5 000 \$	5 000 \$
Amortissement 20 %	1 000 \$	1 000 \$	1 000 \$
Équipements	230 000 \$	400 000 \$	800 000 \$
Amortissement 20 %	46 000 \$	80 000 \$	160 000 \$
Frais de développement	250 000 \$	250 000 \$	250 000 \$
Amortissement 20 %	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$
Dette à long terme	230 000 \$	400 000 \$	800 000 \$
Intérêts sur la dette à long terme	23 000 \$	40 000 \$	80 000 \$
Marge de crédit	50 000 \$	100 000 \$	200 000 \$
Intérêts sur la marge de crédit	5 000 \$	10 000 \$	20 000 \$

## 10.2 Frais annuels de main d'oeuvre

Le tableau 86 présente le calcul des frais annuels de la main d'oeuvre excluant les opérateurs de l'unité de traitement.

**Tableau 86 Frais annuels de main d'oeuvre**

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Directeur	60 000 \$	60 000 \$	60 000 \$
Technicien	35 000 \$	35 000 \$	35 000 \$
Secrétariat	12 000 \$	12 000 \$	12 000 \$
Administration	12 000 \$	15 000 \$	20 000 \$
Sous-total	119 000 \$	122 000 \$	127 000 \$
Avantages sociaux (20 %)	23 800 \$	24 400 \$	25 400 \$
<b>TOTAL</b>	<b>142 800 \$</b>	<b>146 400 \$</b>	<b>152 400 \$</b>

## 10.3 Redevances

Les taux annuels des redevances relatifs à la licence d'exploitation sont présentés au tableau 87.

**Tableau 87 Redevances, taux annuels**

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Volume de traitement (tonnes)	2 600	5 200	13 000
Revenus à 120 \$/tonne	312 000 \$	624 000 \$	1 560 000 \$
Redevance à payer	1 560 \$	3 120 \$	7 800 \$

## 10.4 Frais fixes

Le tableau 88 présente le calcul des frais fixes.

**Tableau 88 Calcul des frais fixes**

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Main d'oeuvre - Administration	142 800 \$	146 400 \$	152 400 \$
Licence et permis	3 000 \$	3 000 \$	3 000 \$
Loyer	18 000 \$	24 000 \$	36 000 \$
Amort. - Mobilier	1 000 \$	1 000 \$	1 000 \$
Amort. - Ordinateur	1 000 \$	1 000 \$	1 000 \$
Amort. - Équipement	46 000 \$	80 000 \$	160 000 \$
Amort. - Frais de développement	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$
Location de 2 camionnettes	19 200 \$	19 200 \$	19 200 \$
Assurance responsabilité	10 000 \$	15 000 \$	20 000 \$
Assurance environnement	5 000 \$	7 500 \$	10 000 \$
Assurance véhicules	3 000 \$	4 000 \$	5 000 \$
Essence	10 000 \$	10 000 \$	10 000 \$
Petits outils et entretien	10 000 \$	15 000 \$	20 000 \$
Habits et équipement sécurité	6 000 \$	6 000 \$	6 000 \$
Frais légaux	4 000 \$	5 000 \$	6 000 \$
Vérification	2 000 \$	2 500 \$	3 000 \$
Fourniture de bureau	4 000 \$	4 000 \$	4 000 \$
Taxes d'affaires	2 500 \$	2 500 \$	2 500 \$
Téléphone et communications	6 000 \$	6 000 \$	6 000 \$
Intérêts dette long terme	23 000 \$	40 000 \$	80 000 \$
Intérêts marge de crédit	5 000 \$	10 000 \$	20 000 \$
Redevance licence	1 560 \$	3 120 \$	7 800 \$
<b>TOTAL des frais fixes annuels</b>	<b>373 060 \$</b>	<b>455 020 \$</b>	<b>622 900 \$</b>
<b>TOTAL des frais fixes mensuels</b>	<b>31 088 \$</b>	<b>37 918 \$</b>	<b>51 892 \$</b>
<b>TOTAL des frais fixes quotidiens</b>	<b>1 413 \$</b>	<b>1 724 \$</b>	<b>2 359 \$</b>
<b>TOTAL des frais fixes horaires</b>	<b>177 \$</b>	<b>215 \$</b>	<b>295 \$</b>

### 10.5 Frais variables

Le calcul des taux horaires des frais variables est présenté au tableau 89.

**Tableau 89 Frais variables, taux horaires**

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Opérateurs (2)	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Électricité	5,00 \$	10,00 \$	25,00 \$
Gaz	25,00 \$	50,00 \$	125,00 \$
Entretien des équipements	10,00 \$	20,00 \$	50,00 \$
Pépine	60,00 \$	60,00 \$	60,00 \$
Traitement d'eau	40,00 \$	50,00 \$	60,00 \$
Analyses	25,00 \$	35,00 \$	50,00 \$
Conteneurs	10,00 \$	20,00 \$	30,00 \$
<b>TOTAL</b>	<b>225,00 \$</b>	<b>295,00 \$</b>	<b>450,00 \$</b>

### 10.6 Coûts d'opération excluant l'élimination des résidus

Le tableau 90 présente les coûts d'opération excluant l'élimination des résidus de traitement.

**Tableau 90 Coûts d'opération excluant l'élimination des résidus**

	2 tonnes/heure	4 tonnes/heure	10 tonnes/heure
Frais variables, taux horaire	225,00 \$	295,00 \$	450,00 \$
Frais fixes, taux horaire	177,00 \$	215,00 \$	295,00 \$
Coût total horaire	402,00 \$	510,00 \$	745,00 \$
Marge d'erreur 10 %	40,20 \$	51,00 \$	74,50 \$
<b>TOTAL</b>	<b>442,20 \$</b>	<b>561,00 \$</b>	<b>819,50 \$</b>
<b>Coût par tonne métrique</b>	<b>221,10 \$</b>	<b>140,25 \$</b>	<b>81,95 \$</b>

Les données indiquent une relation directe entre les coûts d'opération et la capacité de production de l'unité de traitement. Pour une unité de capacité commerciale (10 tonnes à l'heure), les coûts d'opération sont estimés à 81,95 \$ la

tonne de sol contaminé. Les frais reliés directement au traitement du sol, excluant les frais fixes, sont estimés à 49,50 \$ la tonne.

### 10.7 Élimination des résidus

Les frais reliés à l'élimination des résidus varient en fonction de la granulométrie du sol traité. Pour les sols ayant une fine granulométrie, les quantités de résidu généré sont plus grandes, ce qui augmente les coûts reliés à leur élimination. Le tableau 91 présente les coûts d'opération incluant les frais reliés à l'élimination des résidus en fonction de la quantité de résidu généré pour une unité de traitement d'une capacité de production de 10 tonnes à l'heure.

**Tableau 91 Coûts d'opération incluant l'élimination des résidus**

% Résidus	Coût d'élimination des résidus (par tonne de sol traité)	Coût total par tonne de sol traité	
		excluant les frais fixes	incluant les frais fixes
0 %	0,00 \$	49,50 \$	81,95 \$
5 %	10,00 \$	59,50 \$	91,95 \$
10 %	20,00 \$	69,50 \$	101,95 \$
15 %	30,00 \$	79,50 \$	111,95 \$
20 %	40,00 \$	89,50 \$	121,95 \$

Pour des quantités de résidu variant de 5 à 20 %, les coûts de traitement et d'élimination de ces résidus, excluant les frais fixes, varient de 59,50 à 89,50 \$ la tonne de sol traité. En incluant les frais fixes, les coûts de traitement et d'élimination des résidus varient de 91,95 à 121,95 \$ la tonne pour les mêmes proportions de résidu.

Ces coûts se comparent avantageusement aux coûts des autres modes de gestion disponibles. La mobilité des équipements permet de traiter le matériel sur le terrain, éliminant ainsi les coûts du transport du sol contaminé et les frais reliés à l'achat et au transport de matériel de remblais, ce qui représente une économie appréciable par rapport à d'autres modes de gestion.

Compte tenu du fait que certains types de sols génèrent très peu de résidus, les coûts d'opération d'une unité de production commerciale se situent en dessous des coûts d'élimination en cellules sécuritaires ou traitement par fixation des contaminants.

## **11 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

### **11.1 Performances de la technologie**

Les résultats du programme de recherche et de démonstration ont démontré que le procédé de lessivage des sols développé par Géocycle Inc. présente une bonne efficacité pour le traitement des sols contaminés.

Le principal objectif, qui était d'atteindre le critère B (1000 mg/kg) de la politique de réhabilitation des terrains contaminés, a été atteint sur les fractions grossières du sol traité. Les résultats obtenus sur les fractions fines du sol se situent en dessous de 2000 mg/kg, ce qui satisfait le critère C (5000 mg/kg) pour un usage industriel du terrain.

Les résultats obtenus et les données du bilan de masse des contaminants démontrent que l'efficacité du procédé réside en la réduction des volumes de sol par une séparation des granulométries fines et grossières. Les contaminants étant concentrés dans la fraction fine du sol, l'extraction de celle-ci entraîne l'extraction des contaminants du matériel traité. Les fractions grossières, une fois rincées, peuvent être remises en place sur le terrain comme matériel de remblais. Cette technique de traitement du sol s'avère une méthode simple et efficace de réduction des volumes de sol contaminé.

### **11.2 Recommandations pour les essais futurs**

Les résultats obtenus indiquent que le débit d'eau est un facteur important dans le procédé. L'augmentation des débits d'eau favorise l'entraînement des particules fines vers le système de récupération améliorant ainsi la séparation des différentes granulométries de matériel.

Les équipements de tamisage devraient être surdimensionnés de façon à rejoindre les capacités de production visées pour différentes granulométries de matériel traité.

Les limites de décontamination étant plus élevées pour les fractions fines de sol, le remplacement de la maille de 325 mèches par une maille de 250 mèches pourrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats sur le matériel traité.

### **11.3 Aspects concurrentiels de la technologie**

Un des principaux atouts de la technologie est la mobilité des équipements. Ceux-ci peuvent être facilement mobilisés sur le terrain. Les résultats obtenus sont immédiats et le sol traité peut être remis en place sur le terrain. La technologie permet également la concentration des métaux dans les résidus de traitement, qui représentent des volumes réduits par rapport aux volumes de sol traité. Les technologies d'extraction des métaux étant des procédés chimiques généralement très coûteux, la réduction des volumes de matériel à traiter peut représenter une économie appréciable.

### **11.4 Potentiel de commercialisation**

Bien que limitée par la granulométrie du matériel, la technologie présente de multiples avantages pour le traitement des sols de type granulaire. Plus de 60 % des terrains contaminés le sont par des huiles et graisses. Le lessivage des sols s'est avéré efficace pour ce type de contaminant à des coûts compétitifs et la technologie présente un excellent potentiel de commercialisation. Il permet une action rapide et efficace tout en permettant la réutilisation du sol traité, ce qui représente des économies appréciables liées au transport du sol contaminé et l'achat de matériel de remblais.

