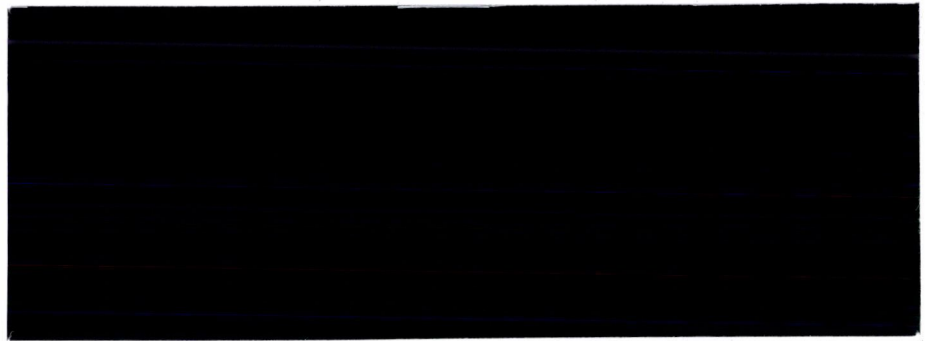




Saint-Laurent
Vision 2000



**Programme
de développement
et de démonstration
technologiques**

TD
879
.P4
T441
1997



Environnement
Canada

Environment
Canada

Canada



Environment
Canada

Environnement
Canada

Les droits d'auteurs appartiennent aux
promoteurs

TD
879
.P4
T441
1997

36156220

ALCAN INTERNATIONAL LIMITÉE

TECOSOL INC.

**DÉMONSTRATION DU PROCÉDÉ SOLTEC POUR LE
TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE *IN SITU* D'UN
SITE CONTAMINÉ D'HUILE DIESEL**



SOMMAIRE EXÉCUTIF

RAPPORT PRÉSENTÉ À

**ENVIRONNEMENT CANADA (RÉGION DU QUÉBEC)
SECTION ÉCO-INNOVATION TECHNOLOGIQUE
DIRECTION DE LA PROTECTION**

MARS 1997

Ce document est publié avec l'autorisation du ministère de l'Environnement.

Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada 1997

N° de catalogue : En 40-542/4-1997-1

ISBN : 0-662-63198-6

PERSPECTIVE DE GESTION

Ce rapport d'étude est publié dans le cadre du « Programme de Développement et de Démonstration Technologiques » d'Environnement Canada qui vise à appuyer les initiatives du secteur privé dans le développement et la démonstration de nouvelles technologies environnementales. Ce programme est associé au Bureau fédéral de développement régional du Québec (BFDR-Q) et fait partie intégrante du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000 d'Environnement Canada.

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été examiné par la Direction de la Protection, Environnement Canada, qui en a autorisé la publication. Cette autorisation ne signifie pas nécessairement que le contenu du rapport reflète les opinions et les politiques du Ministère. Les mentions de marque de commerce et de produits commerciaux qui apparaissent dans ce rapport ne signifient aucunement que leur utilisation est recommandée.

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veuillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport à la Direction de la protection, Section Éco-innovation technologique, Environnement Canada, 105 rue McGill, 4^e étage, Montréal (Québec), H2Y 2E7.

**DÉMONSTRATION DU PROCÉDÉ SOLTEC® POUR LE TRAITEMENT
PHYSICO-CHIMIQUE *IN SITU* D'UN SITE CONTAMINÉ D'HUILE DIESEL**

Dossier : 4954-19/A-226-1 (EC)
3332.52.93.11 (MEF)

Sommaire exécutif
(N° d'activité : 31654)

Promoteurs : Alcan International Limitée
Tecosol Inc.

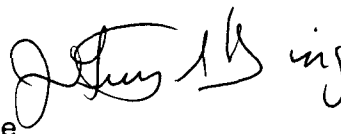
Participation financière

⇒ Fonds de recherche et de développement technologique en environnement
Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec

⇒ Programme de développement et de démonstration technologiques
d'Environnement Canada

Préparé par :

Jean-Guy Tellier
Alcan International Limitée



et

Pierre Dufresne
Tecosol Inc.

POUR

Direction de la protection, Environnement Canada, Section développement technologique
et
Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
Direction de l'information environnementale et de la recherche

AR-97/0006 Mars 1997

TABLES DES MATIÈRES

LA PROBLÉMATIQUE.....	2
OBJECTIFS DU PROJET	2
LA TECHNOLOGIE.....	2
DESCRIPTION DES TRAVAUX.....	3
PROGRAMME ANALYTIQUE	4
PHASE 1 - ESSAIS À L'ÉCHELLE PILOTE EN LABORATOIRE.....	5
LES SOLS	5
LES EAUX SOUTERRAINES	6
PHASE 2 - ESSAIS À L'ÉCHELLE PILOTE SUR LE TERRAIN.....	6
LES RÉSULTATS	7
PHASE 3 - DÉMONSTRATION À L'ÉCHELLE RÉELLE	7
LES TRAVAUX	7
LES RÉSULTATS	8
PHASE 4 - SUIVI ENVIRONNEMENTAL.....	8
ÉVALUATION DES COÛTS	9
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	9
POTENTIELS ET LIMITES	9
DIFFUSION	10

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Au cours d'un projet ayant pour but de choisir une technologie de restauration de sites industriels, la compagnie Alcan a contribué au développement et à la démonstration d'un procédé de traitement de sols contaminés par différents hydrocarbures.

Des essais de traitement *in situ* par voie physico-chimique ou biologique réalisés par Alcan se sont avérés infructueux. Les sols contaminés par des huiles diesel étaient situés principalement autour et sous des bâtiments ou des équipements actifs ou en voie de démantèlement.

La problématique

Au site d'une de ses usines, une fuite d'huile diesel d'un réservoir souterrain a contribué à contaminer les sols situés autour et sous des bâtiments. Une cuvette de sable perméable, confinée par une formation silto-argileuse sous-jacente fut imbibée par des hydrocarbures. Une partie des hydrocarbures s'est propagée à la surface des eaux souterraines et a parcouru une distance de près de 150 mètres en direction sud-est. Le site affecté est situé à 1 km d'une rivière.

Objectifs du projet

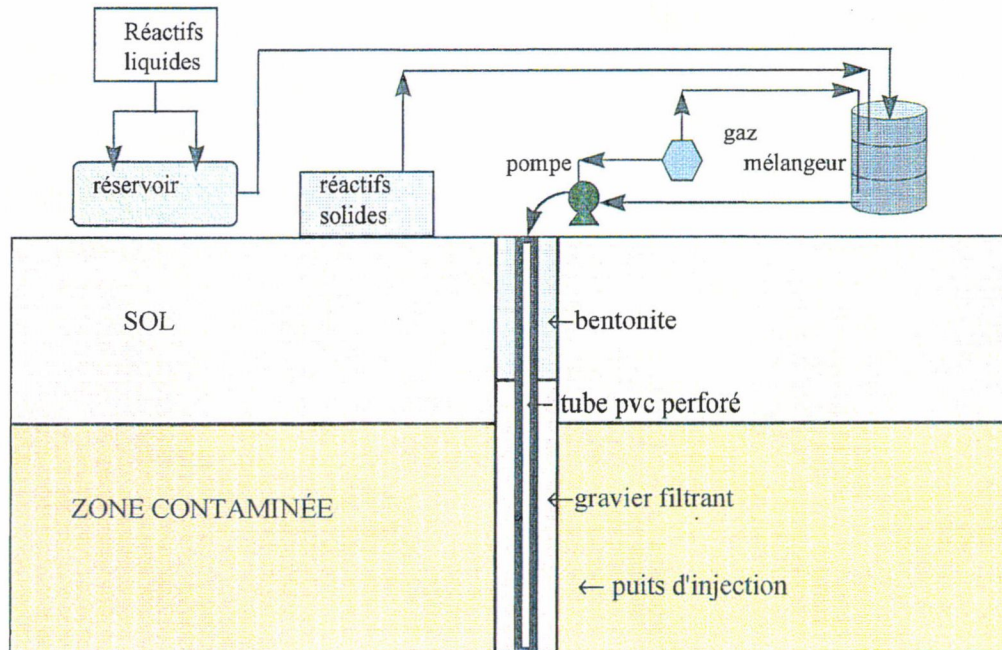
Le projet réalisé par Alcan en 1995 et 1996 visait à démontrer que le procédé SOLTEC[®], proposé au Québec par Tecosol, était acceptable aux points de vue technique, économique, social et environnemental pour traiter les sols contaminés aux hydrocarbures de type diesel.

Cette technologie physico-chimique propose de traiter les huiles imbibées dans le sol en injectant *in situ* des réactifs sous forme solide, liquide et gazeuse qui ont pour effet de dégrader de façon physico-chimique les hydrocarbures. Ce procédé, développé récemment en Europe pour traiter *ex situ* des sols contaminés par des hydrocarbures légers, n'avait jamais été démontré au Québec pour le traitement *in situ* de sols contaminés par des huiles diesel.

La technologie

Le procédé SOLTEC[®] permet d'oxyder les hydrocarbures dans les sols sans former de sous-produits nuisibles à l'environnement. La réaction physico-chimique qui s'effectue en moins de 48 heures permet une réutilisation rapide des sols décontaminés comme remblai. Cette réaction est engendrée par la mise en contact par injection de réactifs solides à base de calcium et des agents oxydants liquides et gazeux avec les hydrocarbures. La technologie physico-chimique proposée offre une alternative valable aux autres modes de traitement. Elle peut être appliquée de façon *in situ* et *ex situ* et le traitement est rapide pouvant se faire en toute saison.

PROCÉDÉ SOLTEC[®] APPLICATION *IN SITU*



Description des travaux

Afin de démontrer l'efficacité environnementale, technologique et économique de la technologie SOLTEC[®], le projet a été divisé en quatre phases :

1. Mesurer en laboratoire, par des essais sur des échantillons de sols contaminés, l'efficacité du traitement et le niveau de toxicité avant et après traitement caractérisant l'ajout des réactifs SOLTEC[®]. En parallèle, réaliser en laboratoire des essais de traitement des eaux souterraines.
2. Effectuer un essai de traitement *in situ*, à l'échelle pilote sur le terrain, nécessitant l'aménagement de deux (2) puits d'injection dans la zone de sols contaminés.
3. Effectuer la démonstration à grande échelle de la technologie de traitement de sols contaminés par la constitution d'un réseau de puits d'injection répartis sur l'ensemble du secteur contaminé.
4. Réaliser le contrôle et suivi environnemental, pendant une période d'un an, de la qualité des sols et des eaux souterraines, au moyen d'une dizaine de forages ou de puits d'observation.

De plus, pour définir les mécanismes des réactions entre le mélange des réactifs et les hydrocarbures dans les sols, et pour évaluer le devenir des contaminants, des essais ont été

réalisés durant les phases 1 et 2 dans les laboratoires du Département de chimie de l'Université de Sherbrooke.

Programme analytique

Le programme analytique proposé lors de la présentation du projet est illustré dans le tableau suivant.

Analyses prévues pour l'ensemble du projet

Phases / étapes	Paramètres analysés	Quantités sol / eau	Localisation (1)	Moment (2)	Méthodes analytiques	Limite de détection
Phase 1 : Essais échelle pilote (laboratoires) Essais toxicité	Germination laitue Micotex / bioluminescence	eau 4 sol 4 sol 4	Zo Zo Zo	Av - Ap Av - Ap Av - Ap	EPA 89 BNQ 1987 Agdex 533	< 1 u.t. < 2 u.t.
Étape 2	pH	eau 4 sol 8 eau 8	Zo Zo Zo	Av - Ap Av - Ap Av - Ap		
Étape 3 : Mécanismes de réactions	H&Gm C organique Granulométrie BTEX pH Lixiviation		Zo	Av - Ap	STM 5520 C & F EPA 624	0,1
Phase 2 : Essais échelle pilote (terrain) sol						
Étape 1	Granulométrie	sol (7)	Zo	Av	BNQ 2560-040	N.A.
Étape 3	Huiles & graisses T H & G lix BTEX (T) BTEX (lix) Ph Conductivité	sol (7) sol (7) sol (7) lixiviats (3) sol (7) sol (7) sol (6) eaux (6)	Zo Zo Zo Zo Zo Zo Zo Zo	Av Av Ap Ap Av Ap Av - Ap Av - Ap	STM 5520 C & F EPA 624 Agdex 533	0,1 (u)
Essais de traitement - eaux souterraines Étape 3	Huiles et graisses BTEX	Eau (11) Eau (11) Eau (11) Eau (11)	Av Av Av Av	Av Ap Av Ap	STM 5520 C & F EPA 624	

Phases / étapes	Paramètres analysés	Quantités sol / eau	Localisation (1)	Moment (2)	Méthodes analytiques	Limite de détection
Phase 3 : Essais échelle réelle sur terrain Étape 1 Étape 2	Granulométrie	sol (40)	Zo	Du	Agdex 533	0,1
	pH conductivité	eaux (40)	Av	Ap		
	Huiles & graisses totaux	sol (16)	Am	Ap		
		sol (4)	Zo	Ap		
	Huiles & graisses	sol (2)				STM 5520
lix. (3)		Zo	Ap		C & F	
Étape 3	BTEX (T)	sol (16)	Am	Ap	EPA 624	0,1
		sol (4)	Zo	Ap		
		sol (2)		Ap		
	BTEX (lix) Voir entente université, item 2,0	lix. (3)				
Phase 4 : Contrôle et suivi environnemental après traitement Étape 1	Huiles & graisses (T)	sol (22)	Zo	Ap	STM 5520	0,1
		lix. (3)	Zo	Ap	C & F	
	BTEX (T)	sol (22)	Zo	Ap	EPA 624	0,1
		lix. (3)	Zo	Ap		
	Étape 2	Huiles & graisses	eau (132)	Av, Am, Zo	Ap	Agdex 533
pH			Av, Am, Zo			
BTEX			Av, Am, Zo	Ap	0,1	

(1) Av = Zone en aval Am = Zone en amont Zo = Zone de traitement des sols (Figure 3)

(2) Av = Avant traitement Ap = Après traitement Du = Durant traitement

Note : Le nombre d'analyses inclut les analyses de contrôle qui représentent 10 % des analyses prévues dans le cadre du programme d'assurance qualité. Laboratoire utilisé : Eco-CNFS, Labo de contrôle : SEDAC

Phase 1 - Essais à l'échelle pilote en laboratoire

Les sols

Les principales étapes consistaient à échantillonner les sols contaminés à partir de trois sondages, préparer et ajouter les réactifs, injecter le mélange de réactifs dans les sols en

laboratoire et analyser les concentrations des contaminants avant et après traitement. Des analyses permettant d'identifier les mécanismes de réaction ont été effectuées. Les paramètres analysés ont été les BTEX, les H&Gm, la granulométrie et le pH. Des GC-MS ont été réalisés sur différents échantillons afin de déterminer les mécanismes de réactions.

Les résultats des essais en laboratoire réalisés à l'Université de Sherbrooke, ont démontré une réduction des hydrocarbures par un facteur de 20 fois. À partir des GC-MS, on a constaté qu'il n'y a pas d'apparition significative de nouveaux produits, que nous sommes en présence d'un mécanisme de destruction des huiles et graisses par réaction chimique.

Les résultats des études de toxicité réalisées à l'Institut de recherche en biotechnologie (IRB) du Conseil national du Canada, ont démontré pour leur part que la technologie SOLTEC® :

- réduit, d'une manière significative, la cytotoxicité induite par l'huile diesel ainsi que la phytotoxicité d'extraits au solvant d'échantillons de sols ;
- réduit la phytotoxicité induite par l'huile diesel d'échantillons de sols ;
- occasionne une disparition complète de la mutagénicité mesurée dans les extraits d'échantillons de sols contaminés à l'huile diesel.

Les eaux souterraines

Les principales étapes consistaient à échantillonner les eaux souterraines à partir de trois piézomètres, à préparer et à ajouter les réactifs, à injecter le mélange de réactifs dans les eaux en laboratoire et à analyser les concentrations avant et après traitement. Les paramètres analysés ont été les BTEX, les H&Gm et le pH.

Les résultats des essais en laboratoire réalisés à l'Université de Sherbrooke, ont démontré une diminution de 50 à 65% des hydrocarbures dans les eaux souterraines sans toutefois abaisser la concentration sous le critère « C » après traitement. Ces essais n'ont pas démontré que la technologie peut être applicable sur les eaux souterraines, et d'autres travaux de plus grande envergure seraient nécessaires pour optimiser les dosages des produits et pour évaluer la faisabilité à l'échelle réelle.

Phase 2 - Essais à l'échelle pilote sur le terrain

Les résultats positifs de la phase laboratoire ont permis de poursuivre à l'étape de pilote sur le terrain. Deux puits d'injection furent aménagés, tout en obtenant des échantillons de sols, et des réactifs liquides furent injectés dans chacun de ces puits. Six (6) puits d'échantillonnage furent forés autour des puits d'injection pour fin d'échantillonnage de contrôle après traitement.

Durant cette phase, huit (8) échantillons de sol furent prélevés des puits d'injection avant traitement et vingt (20) échantillons après traitement furent prélevés des puits

d'échantillonnage. Une série d'analyses furent réalisées sur les vingt-huit (28) échantillons par l'Université de Sherbrooke pour les paramètres de H&Gm, BTEX et pH.

Les résultats

Les résultats obtenus furent à l'effet que la diminution des H&Gm dans les échantillons après traitement *in situ* est similaire sinon meilleure que les essais en laboratoire. Avant traitement, les concentrations mesurées variaient entre 42 900 et 63 500 mg/kg et après traitement, les teneurs mesurées variaient entre 1 100 et 2 700 mg/kg ce qui est inférieur au critère « C » du MEF. Pour les BTEX, des réductions atteignant le critère « C » ont été aussi obtenues. Le pH des sols dans les horizons traités était de l'ordre de 12.

Les travaux sur les mécanismes de réaction ont démontré que la présence de réactions d'oxydation résultent en une création de carbonates de calcium. Les analyses par GC-MS ont aussi démontré qu'il n'y avait pas de formation de produits secondaires ni d'enrichissement des hydrocarbures plus lourds.

Phase 3 - Démonstration à l'échelle réelle

L'objectif de cette phase fut de démontrer l'efficacité de la technologie sur un volume de près de 3 000 m³ de sols contaminés par des hydrocarbures de type diesel. Les travaux de traitement *in situ* se sont échelonnés sur quatre mois. La superficie des sols contaminés fut divisée en quatre zones pour les injections des réactifs.

Les travaux

La zone « A », la plus en amont de l'enclave résiduelle de pollution, a été couverte de dix (10) puits d'injection dans lesquels près de 8 000 litres de réactifs furent injectés. La zone « B » située sous un bâtiment a été l'objet de onze (11) puits d'injection, aménagés à angle de chaque côté du bâtiment. Un total de plus de 10 000 litres de réactifs y furent injectés. La zone « C », la plus en aval de l'enclave résiduelle de pollution, a nécessité pour sa part vingt-quatre (24) puits d'injection répartis de façon uniforme sur l'ensemble de la zone d'essai. La zone « D » située sous deux bâtiments nécessitait quatre (4) puits d'injection aménagés à l'intérieur de ces bâtiments. Lors des forages, aucune contamination ne fut constatée dans cette dernière zone et les sols retrouvés étaient du silt argileux. Aucune injection ne fut donc réalisée dans cette zone.

Lors des forages des quarante-sept (47) puits d'injection, des échantillons composites des sols furent prélevés dans chacun des puits pour fin d'analyse granulométrique. Deux semaines après la fin des injections, dix (10) puits d'échantillonnage furent forés dans l'ensemble des zones d'injections. Dix-huit (18) échantillons furent ainsi prélevés pour fin d'analyse des H&Gm, BTEX et pH.

Les résultats

Les analyses granulométriques permettent de conclure que dans les sols de sable fin, les quantités de réactifs furent plus faibles que les autres où les sables étaient grossiers. L'efficacité du traitement est illustrée dans le tableau suivant :

ANALYSES H&Gm AVANT ET APRÈS TRAITEMENT

	Avant traitement	Après traitement	% destruction
Nombre d'échantillons	13	36	
Moyenne mg/kg	41 615	1 582,8	> 95
Déviati on standard	23 447	796,5	
Nombre d'échantillons < 1000 mg/kg	0	10	

Critères : A - 100 , B - 1000 , C - 5000 , mg/kg

Avec une diminution de plus de 41 615 à 1 583 mg/kg, une efficacité moyenne de destruction de plus de 95% a été obtenue.

Sur un total de quelques quarante-sept (47) puits d'injection répartis sur 1 500 m² de superficie, près du tiers furent aménagés à angle de 45° dans le but d'injecter sous les bâtiments industriels. Les résultats obtenus dans ces secteurs se comparent à ceux obtenus dans les puits d'injection verticaux sur l'ensemble du site à traiter.

Les changements apportés à l'aménagement des puits et à la technique d'injection au cours de la démonstration du projet ont permis d'améliorer davantage l'efficacité du traitement. Ainsi, les résultats obtenus dans les derniers secteurs ont permis d'atteindre le critère « B » de la politique de réhabilitation des terrains contaminés du MEF (référence : Bibliothèque nationale du Québec).

Phase 4 - Suivi environnemental

Un suivi environnemental de la qualité des eaux souterraines sur une période d'un an a démontré que les sols décontaminés n'agissent plus comme source de contamination des eaux souterraines et que la superficie de l'enclave de contamination a diminué jusqu'à présent de plus de 95%.

Évaluation des coûts

Dépendant de la nature des sols, du volume à traiter, de l'encombrement et des infrastructures et du niveau de contamination, l'enveloppe des coûts varie entre 60,00 \$/m³ pour un sol graveleux n'ayant aucune infrastructure majeure à 150,00 \$/m³ pour un sol silteux sous des bâtiments opérationnels.

Conclusions et recommandations

Les travaux réalisés en différentes phases d'essais du procédé SOLTEC[®], ont démontré que les résultats permettent à la technologie d'atteindre, dans des travaux à pleine échelle, le critère indicatif « C » du MEF et même le critère « B » dans certaines conditions.

RÉSULTATS DES ESSAIS DE TRAITEMENT À L'ÉCHELLE LABORATOIRE PILOTE ET PLEINE ÉCHELLE SUR LE TERRAIN

Phases	Paramètres mg/kg	Avant traitement	Après traitement	Efficacité de destruction
Laboratoire	H&Gm	84 700	4 300	95%
	BTEX	700	80	89%
Pilote	H&Gm	44 000	1 860	96%
	BTEX	752	5,3	99%
Pleine échelle	H&Gm	41 615	1 583	96%
	BTEX	75	2	97%

Les hydrocarbures présents dans les sols mis en contact avec le mélange de réactifs, sont détruits par oxydation donnant lieu à la formation d'eau (H₂O) et de gaz carbonique (CO₂).

La batterie d'analyses chimiques et de bioessais, réalisés en laboratoire, a démontré que la réaction avec les hydrocarbures ne génère pas de sous-produits nuisibles pour l'environnement.

Des améliorations peuvent être apportées à la technologie, soient la méthode de construction des puits d'injection et l'étanchéité préalable des sols à traiter.

Potentiels et limites

La principale limite de la technologie est la perméabilité des sols, soit la présence de silt et d'argile qui peut limiter le rayon d'action d'influence des injections des réactifs au point de rendre la technologie plus dispendieuse.

La technologie pourrait être évaluée dans le cadre de traitement de sols contaminés par des huiles de transformateurs et/ou des BPC.

DIFFUSION

TITRE : DÉMONSTRATION DU PROCÉDÉ SOLTEC® POUR LE TRAITEMENT
PHYSICO-CHIMIQUE *IN SITU* D'UN SITE CONTAMINÉ D'HUILE DIESEL

AUTEURS : Jean-Guy Tellier, Alcan International Limitée et Pierre Dufresne, Tecosol Inc.

MARS 1997

	Copies numéros
Alcan International Limitée : Jonquière Centre de documentation technique	1-5
Alcan International Limitée : Jonquière a/s M. Clément Brisson	6
a/s M. Jean Sang	7
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Arvida a/s M. Denis Drapeau	8
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Beauharnois a/s Mme Jacinthe Côté	9
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : EEQ a/s M. Dominique Bouchard	10
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Grande-Baie a/s M. Michel Huot	11
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Isle-Maligne a/s M. Hal Spencer	12
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Laterrière a/s M. Keith Kennedy	13
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Montréal a/s M. Jean-Marie Sala	14
a/s M. Yves T. Villeneuve	15
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Shawinigan a/s M. Jean-Rock Berman	16-19
Société d'électrolyse et de chimie Alcan : Vaudreuil a/s M. Louis Delage	20
Environnement Canada a/s M. Jean-René Michaud	21-31

Ministère de l'Environnement et de la Faune
a/s M. Georges Gabra

32-37

Tecosol Inc.
a/s M. Pierre Dufresne

38-41

