

QE 70.36

717

427

583

D491

1997

INRS - GÉORESSOURCES
CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES

**DÉVELOPPEMENT D'UN PROCÉDÉ DE TRAITEMENT
DE SÉDIMENTS CONTAMINÉS PAR UTILISATION DE
TECHNOLOGIES MINÉRALURGIQUES**

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

RAPPORT PRÉSENTÉ À

**ENVIRONNEMENT CANADA (RÉGION DU QUÉBEC)
SECTION DU DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE
DIRECTION DE LA PROTECTION**

MAI 1997

PERSPECTIVE DE GESTION

Ce résumé du rapport final 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 du développement technologique, Environnement Canada, 105 rue McGill, 4^e étage, Montréal (Québec) H2Y 2E7.

Erratum

p. 110 du rapport final et p.16 du résumé exécutif :

Remplacer : «Le bilan de masse du procédé montre, qu'après filtration, le sédiment traité représente 15 % de la masse in situ, le concentré organique 2 % le concentré métallique 4 % et l'eau présente dans les sédiments 79 %.»

Par : «Le bilan de masse du procédé montre, qu'après filtration, le sédiment traité représente 15 % de la masse in situ, le concentré organique 5 %, le concentré métallique 11 %, l'eau 68 %, une fraction grossière faiblement contaminée (1 %) est soutirée en début de procédé.»

Programme développement et démonstration technologiques
Environnement Canada

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Développement d'un procédé de traitement de sédiments contaminés par utilisation de technologies minéralurgiques¹

préparé par : _

l'INRS - Géoressources

et

le Centre de Recherches Minérales

soumis à la :

Section du développement technologique

Direction de la protection de l'environnement

Environnement Canada

Partenaires financiers :

INRS - Géoressources

Centre de Recherches Minérales

Environnement Canada

Verreault Navigation Inc.

Sainte-Foy, le 22 mai 1997

¹ Bergeron M., St-Laurent H., Blackburn D. et Gosselin A. (1997). *Développement d'un procédé de traitement de sédiments contaminés par utilisation de technologies minéralurgiques*. Rapport préparé par l'INRS-Géoressources et le Centre de Recherches Minérales pour Verreault Navigation et Environnement Canada. 118 p. et annexes I à XVI.

Table des matières

	Page
1. INTRODUCTION	3
2. CARACTÉRISATION	4
2.1 ZONE PORTUAIRE DE QUÉBEC	4
2.2 ZONE PORTUAIRE DE MONTRÉAL	5
3. DÉVELOPPEMENT DE SCHÉMAS DE TRAITEMENT	6
3.1 ZONE PORTUAIRE DE QUÉBEC	6
3.1.1 RÉSULTATS DE TRAITEMENT, ZONE PORTUAIRE DE QUÉBEC	7
3.2 ZONE PORTUAIRE DE MONTRÉAL	8
3.2.1 RÉSULTATS DE TRAITEMENT, ZONE PORTUAIRE DE MONTRÉAL	11
3.2.2 COÛTS DE TRAITEMENT, ZONE PORTUAIRE DE MONTRÉAL	13
4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	14

1. Introduction

Le transport de marchandises et l'activité industrielle dans les zones portuaires et le long des plans d'eau entraînent souvent une contamination des sédiments. Un grand nombre de sites contaminés dans les zones portuaires ont déjà été identifiés et caractérisés par les agences gouvernementales canadiennes. En général, deux catégories de contaminants ont été identifiées. La première catégorie, comprend les composés organiques, ici désignés comme étant les hydrocarbures pétroliers; la deuxième, inclue l'ensemble des contaminants métalliques.

L'accès continu des navires aux quais requiert un dragage régulier des sédiments portuaires. Le dépassement du seuil d'effet néfaste (SEN²) implique une obligation de traitement des sédiments contaminés ou une obligation de confinement sécuritaire.

Ce projet avait pour objectif principal de développer un procédé de traitement peu coûteux et efficace applicable aux sédiments fluviaux et portuaires contaminés en composés organiques et inorganiques. Le procédé a été principalement développé en utilisant comme matériel des échantillons de sédiments contaminés (plus de 5 tonnes métriques) provenant d'un secteur particulier de la zone portuaire de Montréal.

L'approche proposée consiste dans les faits à considérer les sédiments contaminés comme un minerai de pauvre teneur. Il a donc fallu utiliser des techniques de récupération économiques et performantes. Les approches physiques du traitement de minerai regroupant les technologies gravimétriques et les technologies de flottation apparaissaient pertinentes. Il s'agissait donc d'évaluer dans quelle mesure les technologies existantes pouvaient être employées pour décontaminer des sédiments contenant des teneurs qui seraient considérées comme faibles dans le cas d'opérations minières.

La possibilité d'un rejet en eau libre des sédiments traités n'a pas été envisagée. Plus spécifiquement, on visait l'atteinte d'un objectif de restauration permettant un rapport optimal entre les coûts de traitement et les coûts de disposition en milieu terrestre des sédiments traités.

² Centre Saint-Laurent, (1992), *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent*, Environnement Canada, Ministère de l'Environnement du Québec. ISBM 0-662-97096-9.

Pour atteindre l'objectif visé, les étapes suivantes ont été réalisées:

1. Échantillonnage des sédiments contaminés;
2. Caractérisation physico-chimique et minéralurgique des sédiments contaminés;
3. Élaboration des éléments de schémas de traitement préliminaires;
4. Mise au point, évaluation du diagramme de procédé de traitement et étude technico-économique pour une section de la zone portuaire de Montréal.

Deux sites ont été échantillonnés et caractérisés, l'un de ces sites était localisé dans la zone portuaire de Québec, l'autre dans celle de Montréal. On retrouve sur ces deux sites des contaminants divers dont les concentrations sont de beaucoup supérieures aux critères intermédiaires: seuil d'effets néfastes (SEN) pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent définis par Environnement Canada et le Ministère de l'Environnement et de la faune du Québec. Pour les deux zones échantillonnées, un objectif de restauration permettant l'atteinte de teneurs en contaminants se situant sous celles du critère C³ du Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec a été visé. Cet objectif de restauration apparaît optimal en regard du rapport, coûts de traitement/coûts de disposition.

2. Caractérisation

2.1 Zone portuaire de Québec

Les concentrations en composés organiques pour le port de Québec sont inférieures au seuil d'effet néfaste (SEN). Les analyses des composés inorganiques révèlent une forte contamination en cuivre, en zinc et en cadmium (teneurs respectivement 8, 16 et 13 fois supérieures au SEN) pour les échantillons du lot-1 et du lot-2 de la zone portuaire de Québec. Une contamination en chrome est aussi présente. On retrouve à l'occasion une contamination en nickel, plomb et arsenic selon la fraction granulométrique. Tous les minéraux métalliques sont libres et potentiellement récupérables, c'est-à-dire que les métaux sont présents sous forme de phases minéralogiques qui ne sont pas incluses à l'intérieur d'autres composantes. On peut donc les séparer de la matrice minéralogique par utilisation de technologies appropriées. Environ 40% du matériel échantillonné est inférieur à 45 µm. Le tableau 1 présente les critères C de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du MEF, le SEN et le niveau de contamination des sédiments étudiés.

³ Ministère de l'Environnement et de la Faune (1996). *Politique de réhabilitation des terrains contaminés*. Direction des politiques du secteur industriel, du Ministère de l'Environnement et de la Faune. Terrains contaminés, ISSN 1204-2072, ISBN 2-551-16878-3.

2.2 Zone portuaire de Montréal

En ce qui concerne la section échantillonnée de la zone portuaire de Montréal, on y retrouve des teneurs de 24 000 ppm d'hydrocarbures pétroliers (7 fois le critère C). Les échantillons B27, B22-28 et F2 sont fortement contaminés en cuivre (53 fois le SEN), en chrome (9 fois), en arsenic (6 fois) et en nickel (3 fois). Des contaminations en plomb, mercure, zinc, cadmium et phénanthrène sont aussi présentes selon la granulométrie. Tous les minéraux métalliques sont libres et potentiellement récupérables. Plus de 60% du matériel échantillonné est inférieur à 45 µm. Le tableau 1 présente le niveau de contamination des sédiments étudiés en fonction du critère C.

Tableau 1 : Teneurs limites du critère C de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du MEF, du SEN et de la contamination actuellement présente dans les sédiments des zones portuaires de Québec et de Montréal.

	SEN (ppm) [°]	Critère C (ppm) [°]	Port de Québec (ppm) [*]	Port de Montréal (ppm) [*]
Argent (Ag)		40	< 5	33
Arsenic (As)	17	50	14	90
Baryum (Ba)		2000	493	2135
Cadmium (Cd)	3	20	15	6
Cobalt (Co)		300	12	15
Chrome (Cr)	100	800	134	602
Cuivre (Cu)	86	500	557	2352
Étain (Sn)		300	n.m.	< 10
Mercure (Hg)	1	10	0.3	1.23
Molybdène (Mo)		40	< 5	< 5
Nickel (Ni)	61	500	57	145
Plomb (Pb)	170	1000	67	110
Sélénium (Se)		10	< 2	115
Zinc (Zn)	540	1500	2252	646
Hydrocarbures pétroliers C ₁₀ à C ₅₀		3500	370	24 000

[°] extractible

^{*} valeur la plus élevée des moyennes (voir caractérisation), toutes ces analyses représentent des valeurs «totales».

- les teneurs en zinc et en cuivre de la zone portuaire de Québec dépassent le critère C;
- les teneurs en hydrocarbures pétroliers, en sélénium, en cuivre, en baryum et en arsenic dépassent le critère C pour la zone portuaire de Montréal.

3. Développement de schémas de traitement

Les essais de traitement visaient l'atteinte de 2 objectifs principaux:

1. L'élaboration d'un diagramme de procédé préliminaire applicable à la zone portuaire de Québec.
2. Le développement, l'optimisation et la vérification, à l'échelle pilote, d'un diagramme de procédé applicable à la zone portuaire de Montréal et dont l'objectif de traitement avait été fixé à l'atteinte de teneurs en contaminants inférieures à celles du critère C.

3.1 Zone portuaire de Québec

Un schéma de traitement préliminaire applicable à la zone portuaire de Québec est présenté à la figure 1. Les principales étapes de traitement impliquent:

1. le tamisage du sédiment sur une série de trois tamis; le premier tamis servant à protéger les équipements de bris éventuels provoqués par la présence de blocs ou de matériaux consolidés; les deux autres tamis servent à retirer les fractions grossières non contaminées;
2. la classification par hydrocyclones du sédiment en deux fractions, l'une étant composée de particules ayant un diamètre inférieure à 45 μm , l'autre de particules montrant un diamètre supérieure à 45 μm ;
3. la flottation (cellules ou colonnes) des deux courants; cette étape permet la récupération des contaminants métalliques; en fonction de la quantité de fines, des cellules ou des colonnes de flottation peuvent être utilisées; pour l'instant, il n'est pas possible de préciser le choix des équipements de flottation sans la réalisation de travaux supplémentaires;
4. la séparation solide/liquide des produits obtenus par utilisation de filtre à bandes.

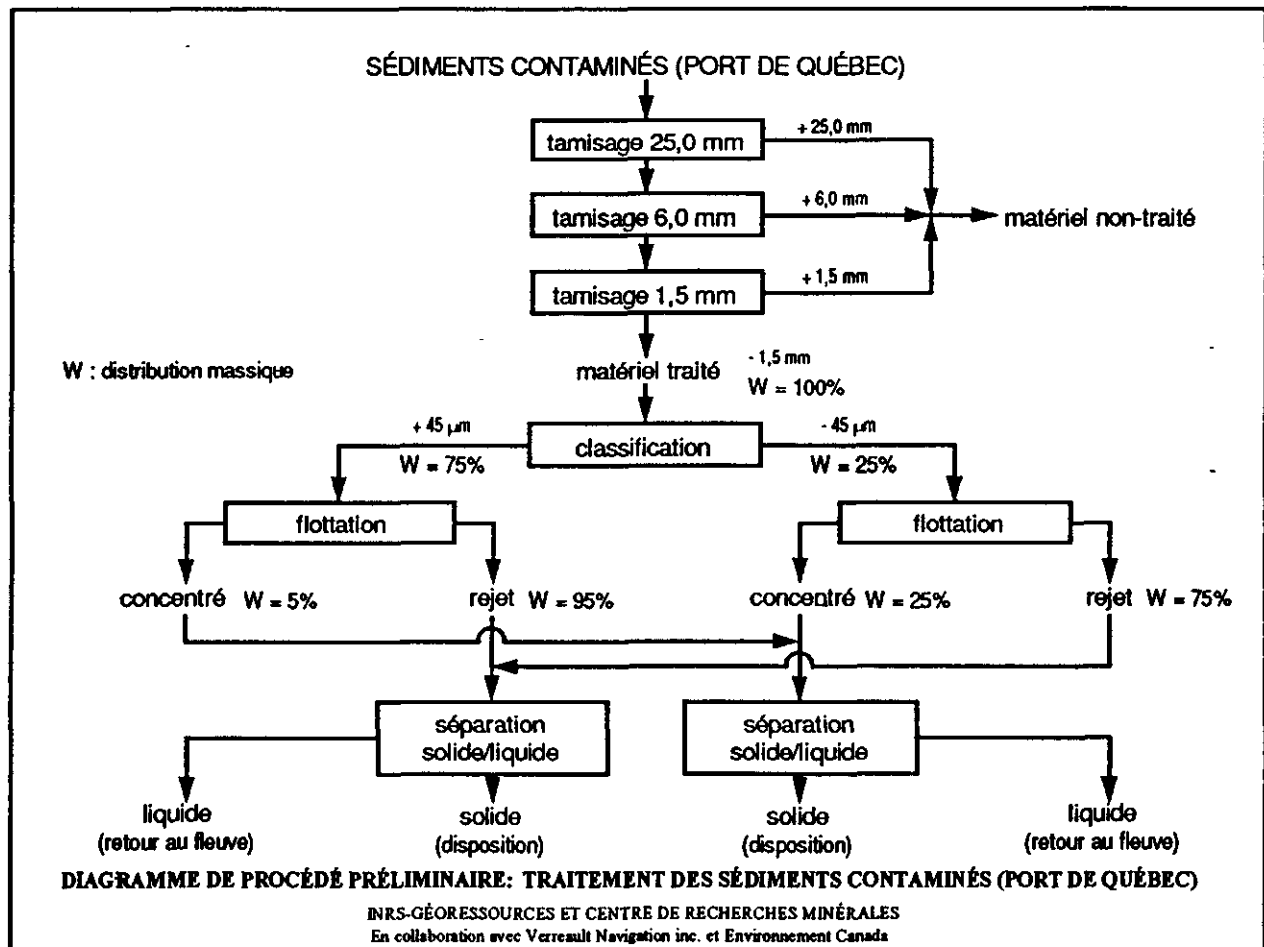


Figure 1 : Schéma de traitement préliminaire, sédiments contaminés, zone portuaire de Québec

3.1.1 Résultats de traitement, zone portuaire de Québec

Après traitement, les teneurs en zinc (les contaminants présentant au départ des concentrations supérieures au critère C sont le zinc et le cuivre) sont réduites de 2252 à 620 ppm tandis que celles du cuivre passent de 557 à 140 ppm soit des % d'enlèvement respectifs de 73% et 75%.

Deux types de produits sont obtenus après traitement: un sédiment traité dont les teneurs en contaminants se situent sous le critère C et un concentré métallique. Le sédiment traité peut-être disposé à des coûts modiques (5\$/Tm) dans un site spécialisé.

Le concentré métallique obtenu du procédé est valorisable. Des teneurs de plus de 15 % Zn ont été retrouvées dans les concentrés obtenus. Ces teneurs sont normalement acceptables par un «smelter». La prochaine étape est de produire à une échelle industrielle un échantillon représentatif de la zone à traiter (un concentré) de plusieurs centaines de kilogrammes. Des sous échantillons de ce concentré seront acheminés vers différents acheteurs potentiels pour évaluation finale. Actuellement il n'est pas possible de poursuivre cette démarche de valorisation faute d'une quantité suffisante de matériel.

Le procédé pourrait techniquement permettre d'atteindre des seuils de décontamination sous le SEM (permettant alors un dépôt en milieu aquatique) et sous le critère B (permettant un dépôt non-restreint en milieu terrestre).

3.2 Zone portuaire de Montréal

Une présentation sommaire du procédé apparaît à la figure 2. Une alimentation hypothétique de 50 m³/h y est proposée. Dans un premier temps, les sédiments sont dirigés vers une série de trois tamis qui permettent l'enlèvement des fractions grossières non contaminées. Les deux premiers tamis (1 et ¼ po) servent à protéger les équipements. Le procédé n'a pas été conçu pour traiter des matériaux d'un diamètre supérieur à 6 mm. La finesse du troisième tamis, fixée actuellement à 1.7 mm, pourra varier en fonction des résultats de la démonstration technologique. La fonction du troisième tamis est d'éviter de traiter du matériel non contaminé.

Nous émettons comme hypothèse que le matériel supérieur à 1.7 mm n'est pas contaminé. Il pourrait être possible de retrouver du matériel inférieur à 1.7 mm non contaminé. Advenant que cette hypothèse se confirme, la taille du troisième tamis serait adaptée à l'alimentation, donc réduite.

Le matériel grossier non contaminé est recueilli dans un conteneur pour être éventuellement disposé à faible coût dans un site d'enfouissement sanitaire (Montréal, carrière Miron). Le sédiment tamisé (passant le tamis) est ensuite acheminé vers des équipements permettant l'enlèvement des contaminants organiques.

Le sédiment tamisé est dirigé vers un réservoir tampon permettant de régulariser le débit de la pulpe (figure 3). De ce réservoir, le sédiment est acheminé vers des équipements permettant l'enlèvement des contaminants organiques, soit pour le secteur 103 de la zone portuaire de Montréal, des hydrocarbures pétroliers. Ces équipements consistent en une cellule d'attrition reliée à une unité de flottation (conditionneur et colonne de flottation). La cellule d'attrition permet, après l'ajout d'agents chimiques appropriés, de décoller les hydrocarbures pétroliers adsorbés à la surface des particules sédimentaires. Les attriteurs mécaniques conventionnels permettent de détacher partiellement les hydrocarbures pétroliers des particules solides. Le diagramme de procédé préconise l'utilisation d'attriteurs conventionnels.

Le mélange comprenant les hydrocarbures pétroliers libres et le sédiment est ensuite dirigé vers le conditionneur. On procède à ce stade à l'ajout d'un collecteur et d'un agent moussant. La séparation des hydrocarbures pétroliers présents dans le mélange est effectuée dans une colonne de flottation. Le concentré organique obtenu, à la partie supérieure de la colonne, est dirigé vers un décanteur et un filtre à bande. À la base de la colonne on retrouve le sédiment partiellement décontaminé. Celui-ci est alors dirigé vers des équipements complémentaires (non présentés) qui permettent de finaliser l'enlèvement des organiques.

À ce stage du traitement, la majorité des hydrocarbures pétroliers ont été enlevés du sédiment contaminé. La prochaine étape consiste en l'enlèvement des contaminants métalliques. Pour ce faire le sédiment est d'abord classifié pour être ensuite dirigé vers des équipements de récupération des contaminants métalliques (figure 2).

L'enlèvement des contaminants métalliques est plus facile à réaliser quand les particules solides sont préalablement classées en fonction de leur grosseur (les fines d'un côté, les grosses de l'autre). On a donc recours à une série d'hydrocyclones pour réaliser ce travail. Des hydrocyclones, disposés en série, permettent de classer le sédiment en deux fractions, l'une inférieure à 20 microns l'autre supérieure à 20 microns.

Après l'étape de classification, les deux courants de sédiment sont dirigés par des circuits indépendants vers des unités de flottation. On procède à l'ajout de collecteurs et d'agents moussants appropriés au cours de l'étape de conditionnement. Les contaminants métalliques sont isolés de la matrice sédimentaire dans une colonne de flottation. Le concentré métallique obtenu à la partie supérieure de la colonne de flottation est ensuite filtré sur un filtre à bande.

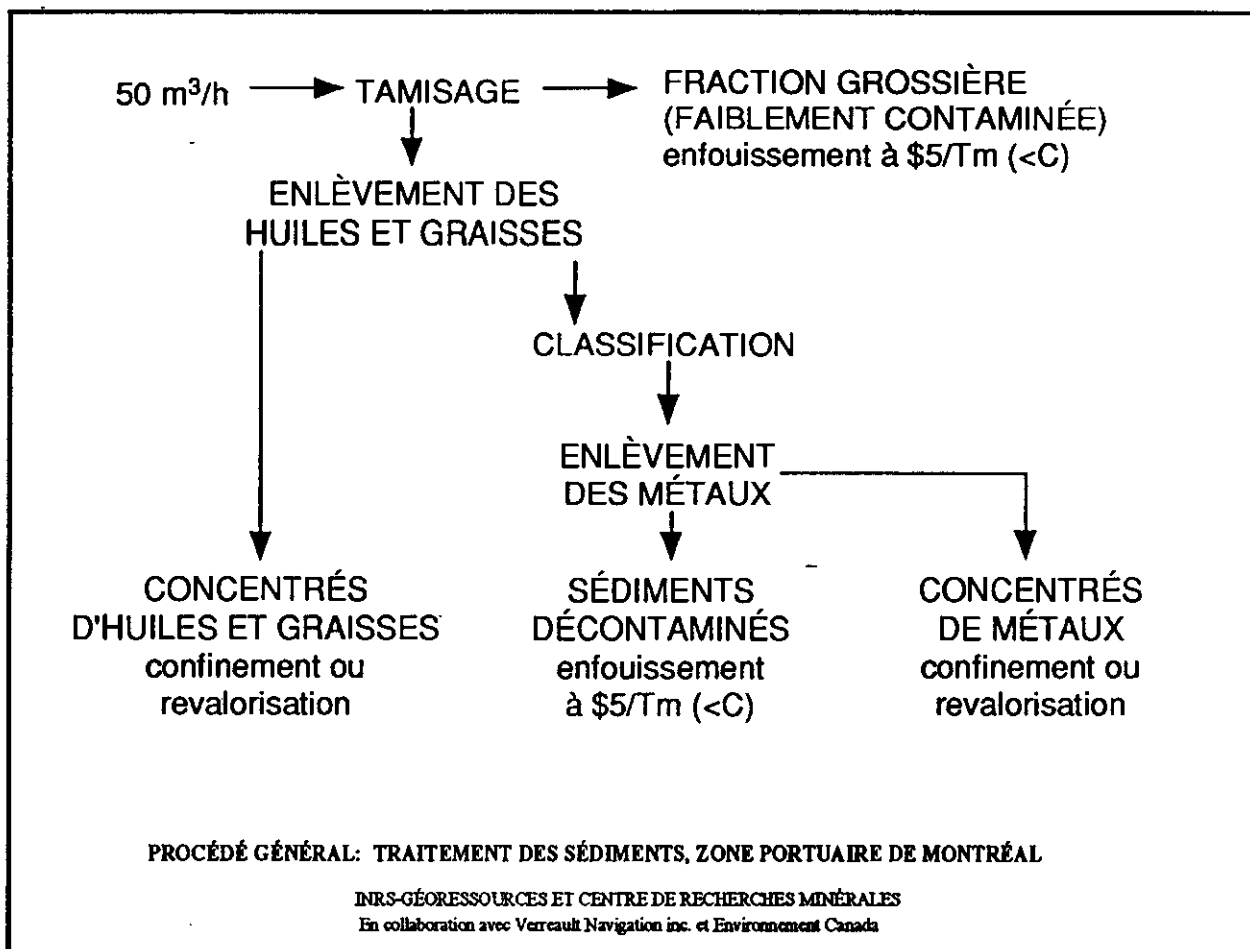


Figure 2 : Procédé général de traitement des sédiments contaminés : zone portuaire de Montréal

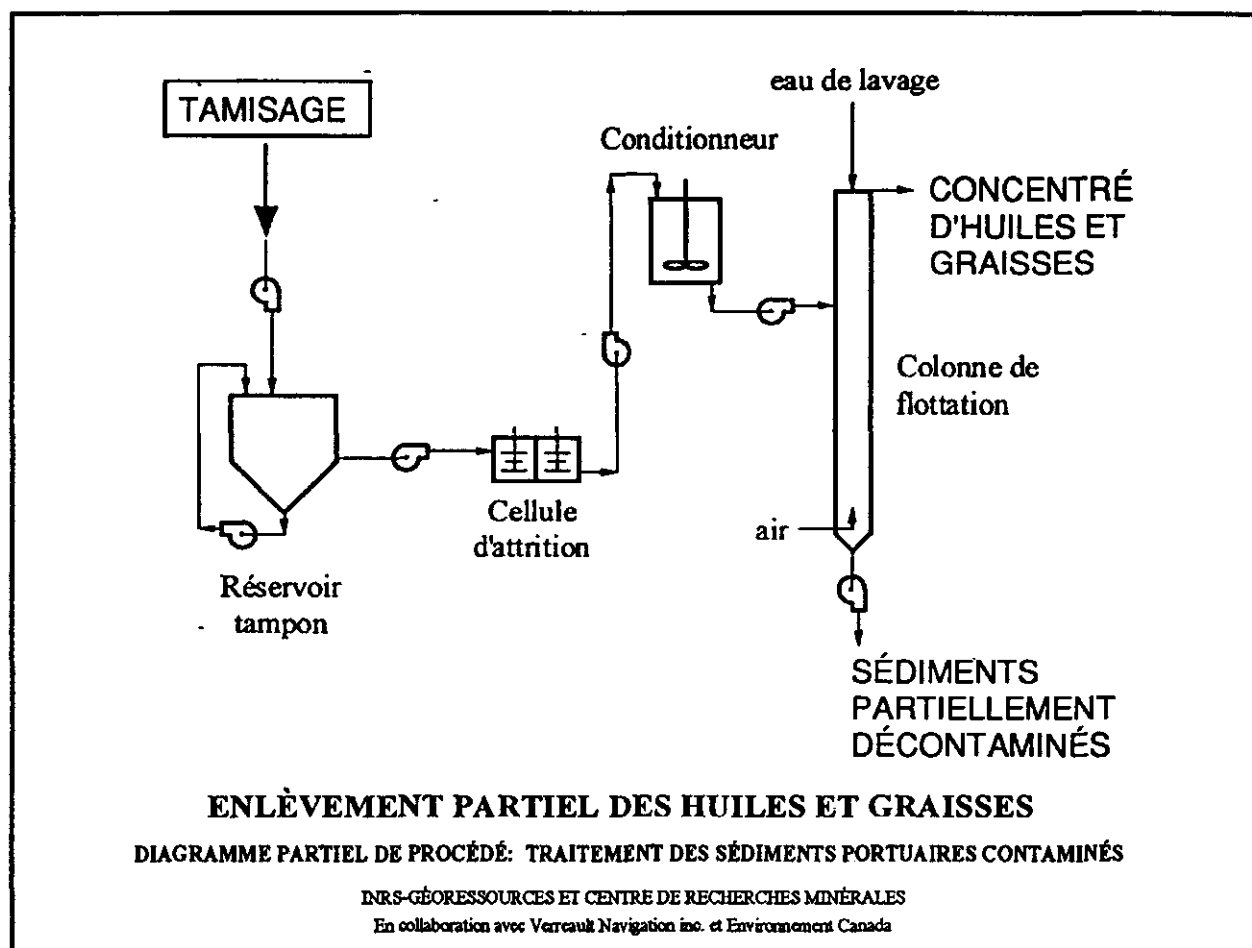


Figure 3 : Enlèvement partiel des huiles et graisses, zone portuaire de Montréal

De façon similaire à la flottation des hydrocarbures pétroliers, on retrouve, à la base de la colonne, le sédiment partiellement décontaminé. Celui-ci est alors dirigé vers des équipements complémentaires (non présentés) qui permettent de finaliser l'enlèvement des contaminants métalliques. La dernière étape du traitement implique la filtration du sédiment sur un filtre à bande. Le sédiment traité se classe sous le critère C.

3.2.1 Résultats de traitement, zone portuaire de Montréal

Les résultats des essais optimaux sont présentés au tableau 2. Le procédé permet donc un abaissement des teneurs en métaux et en composés organiques sous le critère C. Pour les hydrocarbures pétroliers dont les teneurs avant traitement sont de 24 000 ppm, le traitement par flottation abaisse cette valeur à 2500 ppm (pourcentage d'enlèvement de 89 %). Les composantes inorganiques présentent des pourcentages d'enlèvements de 54 %, 56 %, 79 % et 99 % pour le Ba, l'As, le Cu et le Se.

Tableau 2 : Présentation du SEN, des teneurs en métaux et en composés organiques avant traitement, du critère B, du critère C et des teneurs en métaux et en composés organiques des sédiments traités de la zone portuaire de Montréal.

Paramètres	SEN	Z.P. de Montréal	Critère B	Objectif	Z.P. de Montréal	Enlèvement
	(ppm)	Début (ppm)*	(ppm)	Critère C	Fin (ppm)+	%
Argent (Ag)		33	20	40	20	
Arsenic (As)	17	90	30	50	40	56%
Baryum (Ba)		2135	500	2000	980	54%
Cadmium (Cd)	3	6	5	20	4.5	
Cobalt (Co)		15	50	300	n.m.	
Chrome (Cr)	100	602	250	800	434	
Cuivre (Cu)	86	2352	100	500	490	79%
Étain (Sn)		< 10	50	300	< 10	
Mercure (Hg)	1	1.23	2	10	1	
Molybdène (Mo)		< 5	10	40	< 5	
Nickel (Ni)	61	145	100	500	142	
Plomb (Pb)	170	110	500	1000	108	
Sélénium (Se)		115	3	10	< .1	99%
Zinc (Zn)	540	646	500	1500	442	
BPC	1	< 0,5	1	10	n.m.	
C10 à C50 (hydrocarbures pétroliers)		24 000	700	3500	2500	90%

Z.P. : zone portuaire

* : Valeur la plus élevée des moyennes (voir caractérisation)

+ : Valeur obtenue par combinaison des résultats selon coupe granulométrique (résultats en annexe)

n.m.: non-mesurée

Les % d'enlèvements ont été calculés seulement pour les contaminants dont les teneurs dans l'échantillon de départ se situaient au dessus du critère C.

Les sédiments traités présentent des teneurs en contaminants inférieures au critère C, ce qui permet d'en disposer à faibles coûts. Le scénario envisagé pour disposer des sédiments décontaminé exige la filtration des sédiments traités (afin de de les rendre «pelletable») et leur transport jusqu'à la carrière Miron.

Présentement, il est prévu d'acheminer les concentrés d'hydrocarbures pétroliers chez un récupérateur spécialisé après une étape de filtration. Celle-ci servant à limiter le volume des concentrés. Une valorisation des concentrés est potentiellement envisageable.

Pour la zone portuaire de Montréal, des teneurs intéressantes en Au, Ag et Cu sont présentes dans les concentrés métalliques. Les teneurs les plus élevées retrouvées dans les concentrés sont de 1,5 % Cu, 4 g/t Au, 120 g/t Ag. Ces teneurs sont normalement traitables, selon les règles en vigueur dans l'industrie minière, par un concentrateur à forfait (usine de flottation). Ce concentré peut aussi être dirigé vers une fonderie (smelter). Dans les deux cas, la prochaine étape est de produire à une échelle industrielle un échantillon représentatif de la zone à traiter (un concentré) de plusieurs centaines de kilogrammes.

3.2.2 Coûts de traitement, zone portuaire de Montréal

Les coûts d'exploitation globaux d'une unité de traitement (incluant la location des équipements de traitement, le dragage, le traitement et la disposition et/ou la valorisation des matériaux traités et des concentrés métalliques ou d'hydrocarbures pétroliers) peuvent varier entre 55 \$/t à 220 \$/t dépendamment du volume à traiter (tableau 3).

Tel que démontré au tableau 3, ces coûts sont comparables à ceux rapportés dans la littérature notamment à ceux de la technologie commerciale de traitement Bergmann applicable aux sols et sédiments contaminés et qui a été développée à partir de l'utilisation d'équipements minéralurgiques. L'efficacité de la technologie Bergmann a été démontrée dans le cadre de plusieurs projets de traitement de sédiments tant en Europe, qu'en Amérique du Nord. Les estimés de coûts d'application du procédé de traitement Bergmann qui ont été préparés par le US-EPA Superfund Innovative Technology Evaluation (SITE) Program sont tirés du Remediation Guidance Document (ARCS) Program⁴. La technologie Bergmann ne s'applique pas au traitement de sédiments contenant plus de 30% de matériel inférieur à 45 microns (Traver, 1996). La section étudiée de la zone portuaire de Montréal est constituée de sédiments dont 60 % présentent des diamètres de particules inférieures à 45 microns et pour lesquels a priori, le traitement Bergmann serait non applicable.

⁴ U.S. Environmental Protection Agency. 1994. «ARCS Remediation guidance document» EPA 905-B94-003. Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.

Tableau 3. Estimés de coûts en fonction de volumes à traiter.

Volume du site à traiter	Coûts globaux \$ Can/Tm	
Tonne métrique	Bergmann	INRS/CRM
14 560	225 \$	220 \$
45 000	185 \$ ^(a)	160 \$
89 180	120 \$	100 \$
222 950	85 \$	70 \$
1 490 580	60 \$	55 \$

(a) estimé obtenu à partir d'une interpolation graphique.

Comme la plupart des technologies de traitement, les coûts d'exploitation varient principalement en fonction:

1. du type de contaminants en présence (contamination organique ou inorganique ou contamination mixte);
2. du niveau de contamination;
3. du volume à traiter ainsi que du type de matrices;
4. des critères de restauration recherchés;
5. des modes de disposition ou de traitement des concentrés métalliques et d'hydrocarbures pétroliers obtenus lors du traitement.

Les coûts précédents sont présentés à titre indicatif et ne pourront être validés qu'après la réalisation d'un projet de démonstration technologique sur le terrain portant sur toute la chaîne de traitement, depuis le dragage des sédiments jusqu'au traitement et à la disposition ou à la valorisation des résidus et des sédiments traités.

4. Conclusions et recommandations

Certains secteurs des zones portuaires de Montréal et de Québec sont contaminés au-dessus du seuil d'effet néfaste (SEN). Des échantillons provenant d'un secteur de la zone portuaire de Québec sont contaminés par des métaux. Les contaminations en cuivre, en zinc et en cadmium sont respectivement de 8, 13 et de 16 fois supérieures au SEN. Ces contaminants sont dispersés dans toutes les tranches granulométriques examinées (<12 µm <45 µm <75 µm < 150 µm > 150 µm). Des contaminations moins importantes en nickel, chrome, plomb et arsenic y sont aussi présentes selon la granulométrie. Près de 35% en masse de ces sédiments ont un diamètre inférieur à 45 µm.

Des sédiments provenant d'une section de la zone portuaire de Montréal sont fortement contaminés par les métaux et les hydrocarbures pétroliers. Les contaminants métalliques, pour toutes les tranches granulométriques examinées ($<12\ \mu\text{m}$ $<45\ \mu\text{m}$ $<75\ \mu\text{m}$ $<150\ \mu\text{m}$ $>150\ \mu\text{m}$), sont le cuivre, le chrome, l'arsenic, le nickel lesquels présentent des teneurs respectivement de 53, 9, 6 et de 3 fois supérieures au SEN. Les concentrations en hydrocarbures pétroliers sont de 8 fois supérieures au SEN. Plus de 60% (en masse) de ces sédiments ont un diamètre inférieur à $45\ \mu\text{m}$. Tous les contaminants inorganiques sont libres et potentiellement récupérables par des procédés minéralurgiques.

Des essais de traitement de ces sédiments contaminés ont été effectués par utilisation de procédés minéralurgiques. Étant donné la présence importante de particules fines dans les échantillons ($<45\ \mu\text{m}$) les essais ont particulièrement visé l'utilisation d'équipements adaptés aux traitements des fines, soit le séparateur à gravité multiple de Mozley Inc., (MGS) et les technologies de flottation (cellules et colonnes).

En ce qui concerne les sédiments contaminés de la zone portuaire de Québec, les essais avec le MGS et les équipements de flottation permettent l'atteinte de teneurs sous le critère C. Un schéma de traitement préliminaire élaboré à partir de l'utilisation d'équipements de flottation a été proposé. Les essais de flottation indiquent pour le zinc que les teneurs passent de 2252 ppm (avant traitement) à 620 ppm (après traitement) ce qui correspond à un enlèvement de 73%. Un rendement similaire a été noté pour le cuivre avec un enlèvement de 75 % (de 557 à 140 ppm). Le concentré métallique obtenu contient 15 % zinc et est en principe revalorisable comme concentré d'alimentation à une fonderie.

Un procédé, vérifié et optimisé à l'échelle semi-industrielle sur une base semi-continue, a été mis au point à partir des échantillons de sédiment provenant d'un secteur de la zone portuaire de Montréal. Il a été décidé de procéder à des essais exhaustifs avec le matériel provenant de cette zone, celui-ci contenant les deux principaux types de contaminants (métalliques, hydrocarbures pétroliers) les plus retrouvés dans les zones portuaires et fluviales. Le procédé permet de récupérer les hydrocarbures pétroliers et les métaux.

Le procédé comprend trois étapes principales. Dans une première étape les hydrocarbures pétroliers sont séparés de la matrice sédimentaire. Cette étape comprend aussi un pré-traitement du sédiment dans une cellule d'attrition. La seconde étape implique une classification du matériel en deux fractions granulométriques. Au cours de la troisième étape les contaminants métalliques sont extraits de ces deux fractions. Les équipements utilisés comprennent entre autres choses des colonnes de flottation.

Trois sous-produits de traitement ont été obtenus. Premièrement, des sédiments traités dont les teneurs en contaminants ont été abaissées sous celles du critère C; deuxièmement, un concentré métallique; troisièmement, un concentré d'hydrocarbures pétroliers.

On note que le traitement abaisse les teneurs en cuivre de 2352 ppm à 490 ppm (enlèvement de 79%), tandis que celles du sélénium passent de 115 ppm à des teneurs inférieures à 1 ppm (enlèvement > 95%). Les concentrations en hydrocarbures pétroliers chutent de 24 000 ppm à 2 500 ppm (enlèvement de 89%). Le bilan de masse du procédé montre, qu'après filtration, le sédiment traité représente 15 % de la masse in situ, le concentré organique 2 % le concentré métallique 4 % et l'eau présente dans les sédiments 79 %.

Il est prévu de disposer, à un coût modique, les sédiments traités dans un site d'enfouissement. Le concentré d'hydrocarbures pétroliers sera dirigé chez un récupérateur spécialisé. Le concentré métallique contenant 1.5% cuivre, 4 g/t or, 120 g/t argent est revalorisable comme alimentation à une fonderie.

Actuellement le procédé ne permet pas d'atteindre les critères B et SEM. Cependant, l'atteinte d'objectifs de décontamination sous les critères B et SEM est techniquement envisageable pour des matrices sédimentaires dont les grains ont des diamètres supérieurs à 1 micron et dont les contaminants métalliques sont libérés de la matrice. Pour définir les limites technologiques du procédé des travaux supplémentaires s'imposent.

Les principales recommandations de ce rapport sont les suivantes. Une démonstration technologique du procédé de traitement développé devrait être effectuée à l'échelle 1/100, cette échelle nous permettant d'avoir accès rapidement à des équipements complémentaires ou non prévus.

Pour le port de Montréal, des essais supplémentaires d'attrition ou de délogement des hydrocarbures pétroliers avant la flottation devraient être effectués afin d'améliorer l'efficacité du procédé et, par le fait même, de diminuer les coûts d'achat d'équipements.