

3600205F

TD  
195  
.D92  
P763  
1990  
Vol.1

Caractérisation de la qualité  
des sédiments du port de Québec

Tome 1

Rapport final



soumis

à la direction de

Conservation et Protection  
Environnement Canada

par

Procéan  
945 chemin Ste-Foy  
Québec, Qc.

Juin 1990

## Résumé

Le volet restauration du plan d'action Saint-Laurent d'Environnement Canada vise entre autres à nettoyer les sites fédéraux contaminés. Parmi les sites fédéraux, le port de Québec a fait l'objet d'une caractérisation détaillée de l'état de contamination des sédiments afin de permettre la priorisation des zones d'intervention et l'identification des sources probables de contamination.

Le plan d'échantillonnage prévu à cette fin comprenait 139 prélèvements de surface et 51 prélèvements en profondeur et des relevés géophysiques sur une distance de 32 km. Les stations ont été réparties en fonction du potentiel de contamination établi après l'analyse de la documentation et les rencontres avec les autorités portuaires. Les analyses de paramètres inorganiques (As, Cd, Cu, Cr, CN Ni, Pb, Zn) et organiques globaux (carbone organique total, huiles et graisses minérales et totales, halogènes organiques totaux) ont été réalisés sur 175 échantillons et les analyses de composés organiques fins (BPC, HAP, pesticides organochlorés et hydrocarbures aliphatiques) ont été réalisés sur 35 échantillons choisis.

La morpho-sédimentologie de cette partie du fleuve est caractérisée par des zones d'hydrodynamisme élevé où se concentre le matériel sableux parfois sous forme de dunes. Les zones où l'hydrodynamisme est le plus faible sont caractérisées par une sédimentation active de silt et d'argile. Ces zones se situent dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, dans le bassin Louise, à l'entrée des cales-sèches de Lauzon, sur les zones intertidales larges et les anses et baies en retrait le long du littoral.

Les analyses de contaminants ont révélé que les sédiments du port de Québec présentent de fortes teneurs en zinc, cuivre, plomb, cyanures, carbone organique total et en huiles et graisses. En ce qui a trait aux composés organiques les HAP et les BPC présentent des teneurs élevées.

La répartition spatiale des concentrations met en relief la contamination de l'estuaire de la rivière Saint-Charles et du bassin Louise. Le calcul de l'indice de qualité montre que ces deux zones dépassent largement les critères de qualité sélectionnés. Ces zones sont caractérisées par de fortes teneurs en métaux (Cu, Zn, Pb) et en composés organiques (BPC, HAP). Les autres zones et secteurs présentent certaines teneurs anormalement élevées principalement près des installations portuaires de la MIL Davie, à la marina de Sillery et à certaines stations isolées. Les analyses statistiques ont confirmé les regroupements réalisés à partir de l'interprétation des résultats cartographiques.

La sélection des zones prioritaires de restauration a été basée principalement sur l'indice de qualité qui englobe les résultats de toutes les analyses pour un échantillon donné. Les autres

critères de sélection furent le potentiel de remise en circulation des contaminants, l'utilisation actuelle et future du site et la persistance des sources de contamination.

Les zones prioritaires de restauration se situent d'abord dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles où la contamination est la plus intense puis dans le bassin Louise. A ce dernier site, la priorité est donnée au bassin extérieur communiquant directement avec le système fluvial. Quant aux autres sites, ils ne se classent pas au même rang de priorité que les deux zones précédentes principalement à cause d'une contamination beaucoup moins élevée.

Enfin, il faut souligner que l'évaluation de la qualité des sédiments du port de Québec fut basée principalement sur les critères établis par Vigneault et al (1978). Ces critères n'ont pas été établis pour des fins de restauration de sites contaminés mais plutôt pour sélectionner le mode de disposition des produits d'excavation de dragage.

## Equipe de travail

L'équipe de travail qui a participé aux différentes phases de l'étude et à la rédaction du rapport final se compose des personnes suivantes:

Nelson Belzile, océanographe-chimiste  
Paul Blais, géographe  
Nathalie Bussièrès, cartographe  
Guy Chateaufneuf, océanographe-chimiste  
Daniel Cluis, mathématicien, statisticien, INRS-Eau  
Ronald Greendale, biologiste  
Serge Hébert, biologiste  
Johanne Laberge, géologue  
Jean Morin, géologue  
Sylvain Ouellet, océanographe-chimiste  
Marc Pelletier, océanographe-géologue  
Marie-France Richard, secrétaire  
Jacek Tronczynski, hydrochimiste  
Frédéric Willème, technicien

## Laboratoires participants

- Eco-Recherches Inc.  
Amr Rouchdy, chimiste  
Benoit Lagarde, chimiste
- INRS-Océanologie  
Charles Brochu, chimiste
- Zenon Analytical Services Inc.  
Rod Thompson, chimiste

  
\_\_\_\_\_  
Marc Pelletier  
Directeur de projet

## Table des matières

Page

### Equipe de travail

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

1.	<u>INTRODUCTION</u> . . . . .	1
2.	<u>REGION A L'ETUDE</u> . . . . .	2
3.	<u>PROBLEMATIQUE</u> . . . . .	4
4.	<u>OBJECTIFS</u> . . . . .	5
5.	<u>DONNEES ANTERIEURES</u> . . . . .	6
	5.1 INVENTAIRE DES DONNEES . . . . .	6
	5.2 HISTORIQUE DE DEVELOPPEMENT . . . . .	6
	5.3 APPORTS DE CONTAMINANTS ET QUALITE DES SEDIMENTS . . . . .	9
	5.4 SYNTHÈSE . . . . .	24
6.	<u>METHODOLOGIE</u> . . . . .	27
	6.1 PLAN D'ECHANTILLONNAGE . . . . .	27
	6.2 ECHANTILLONNAGE ET RELEVES . . . . .	31
	6.3 ANALYSES EN LABORATOIRE . . . . .	34
	6.4 EVALUATION DE LA QUALITE DES ANALYSES . . . . .	44
7.	<u>MORPHO-SEDIMENTOLOGIE</u> . . . . .	53
	7.1. MORPHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DU FOND . . . . .	53
	7.2 GRANULOMETRIE . . . . .	58
	7.3 ASPECTS HYDRODYNAMIQUES . . . . .	70

8.	<u>QUALITE DES SEDIMENTS</u>	72
8.1	PARAMÈTRES INORGANIQUES	74
8.2	PARAMETRES ORGANIQUES GLOBAUX	83
8.3	INDICES DE QUALITE	90
8.4	ANALYSES STATISTIQUES	95
8.5	PARAMETRES ORGANIQUES FINS	106
8.6	SYNTHESE	112
9.	<u>ORIGINES ET SOURCES</u>	114
9.1	ZONE 1	114
9.2	ZONE 2	115
9.3	ZONE 3	115
9.4	ZONE 4	115
9.5	ZONE 5	116
9.6	AUTRES SOURCES PONCTUELLES	116
10.	<u>PRIORISATION DES ZONES D'INTERVENTION</u>	117
10.1	CRITERES DE PRIORISATION	117
10.2	SELECTION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION	119
10.3	ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION	122
11.	<u>CONCLUSION</u>	123
12.	<u>RECOMMANDATIONS</u>	124
13.	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	125

Liste des tableaux

Page

Tableau 1	Définition des zones et des secteurs du port de Québec .....	10
Tableau 2	Activités et contamination potentielle des différentes zones du port de Québec .....	11
Tableau 3	Synthèse des données antérieures sur la qualité des sédiments du port de Québec .....	13
Tableau 4	Niveau d'effort de l'échantillonnage en fonction du potentiel de contamination des zones et des secteurs du port de Québec.....	28
Tableau 5	Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres inorganiques .....	35
Tableau 6	Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres organiques globaux.....	37
Tableau 7	Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres organiques fins .....	39
Tableau 8	Corrélations de Spearman entre les paramètres organiques globaux et fins .....	42
Tableau 9	Données relatives à l'exactitude des analyses inorganiques .....	48
Tableau 10	Statistiques de base sur la granulométrie des sédiments par secteur et par zone .....	59
Tableau 11	Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons .....	61
Tableau 12	Moyenne et écart type des analyses inorganiques des sédiments par zone et secteur.....	75
Tableau 13	Moyenne et écart type des analyses organiques globales des sédiments par zone et par secteur...	85
Tableau 14	Moyenne et écart type des indices de qualité calculés par zone et secteur .....	91
Tableau 15	Matrice des corrélations entre les paramètres chimiques et les paramètres granulométriques ..	96
Tableau 16	Matrice des corrélations entre les paramètres chimiques .....	97
Tableau 17	Moyenne et écart-type des paramètres organiques fins par zone et par secteur .....	107

Tableau 18 Priorisation des zones d'intervention du port  
de Québec.....120

## Liste des figures

	<u>Page</u>
Figure 1 Localisation de la région à l'étude .....	3
Figure 2 Localisation des zones et des secteurs du port de Québec, des stations d'échantillonnage des sédiments et des relevés géophysiques.....	29
Figure 3 Echogramme montrant des rides sableuses et un affleurement rocheux (L17 à L20) .....	54
Figure 4 Echogramme montrant un fond rocheux (L35 à L37).....	54
Figure 5 Echogramme montrant un affleurement rocheux (L44)...	55
Figure 6 Echogramme montrant des stratifications parallèles de pendage nord (L11) .....	55
Figure 7 Echogramme montrant des stratifications parallèles de pendage sud (quais 24-25-26).....	57
Figure 8 Granulométrie des sédiments .....	60
Figure 9 Conditions hydrodynamiques générales .....	71
Figure 10 Concentrations en cadmium, en arsenic et en cyanures des sédiments prélevés en 1989.....	77
Figure 11 Concentrations en zinc et en cuivre des sédiments prélevés en 1989 .....	78
Figure 12 Concentrations en mercure et en plomb des sédiments prélevés en 1989 .....	79
Figure 13 Concentrations en nickel et en chrome des sédiments prélevés en 1989 .....	80

Figure 14	Concentrations en carbone organique total et en halogènes organiques totaux des sédiments prélevés en 1989 .....	86
Figure 15	Concentrations en huiles et graisses totales et minérales des sédiments prélevés en 1989.....	87
Figure 16	Indices de qualité A calculés des sédiments prélevés en 1989 .....	94
Figure 17	Dendrogramme des paramètres individuels pour tous les échantillons .....	99
Figure 18	Dendrogramme des paramètres moyens par zones et secteurs .....	99
Figure 19	Représentation simultanée des correspondances entre les zones et secteurs et les paramètres de contamination .....	102
Figure 20	Dendrogramme des zones et secteurs .....	103
Figure 21	Dendrogramme de tous les échantillons .....	105
Figure 22	Concentrations en BPC totaux et en pesticides totaux des sédiments prélevés en 1989 .....	108
Figure 23	Concentrations en HAP totaux et en hydrocarbures aliphatiques totaux des sédiments prélevés en 1989..	109
Figure 24	Carte synthèse des dépassements des critères de qualité des sédiments prélevés en 1989 .....	113

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre du plan d'action Saint-Laurent d'Environnement Canada, le volet restauration vise à nettoyer les sites fédéraux contaminés et à réhabiliter les milieux humides. Parmi les sites fédéraux, le port de Québec fut identifié au nombre des sites priorités.

En janvier 1989, la direction de Conservation et Protection d'Environnement Canada confiait à la firme Procéan le mandat de caractériser la nature, l'étendue et le degré de contamination des sédiments du port de Québec et à prioriser les zones d'intervention dans la perspective d'un plan de décontamination.

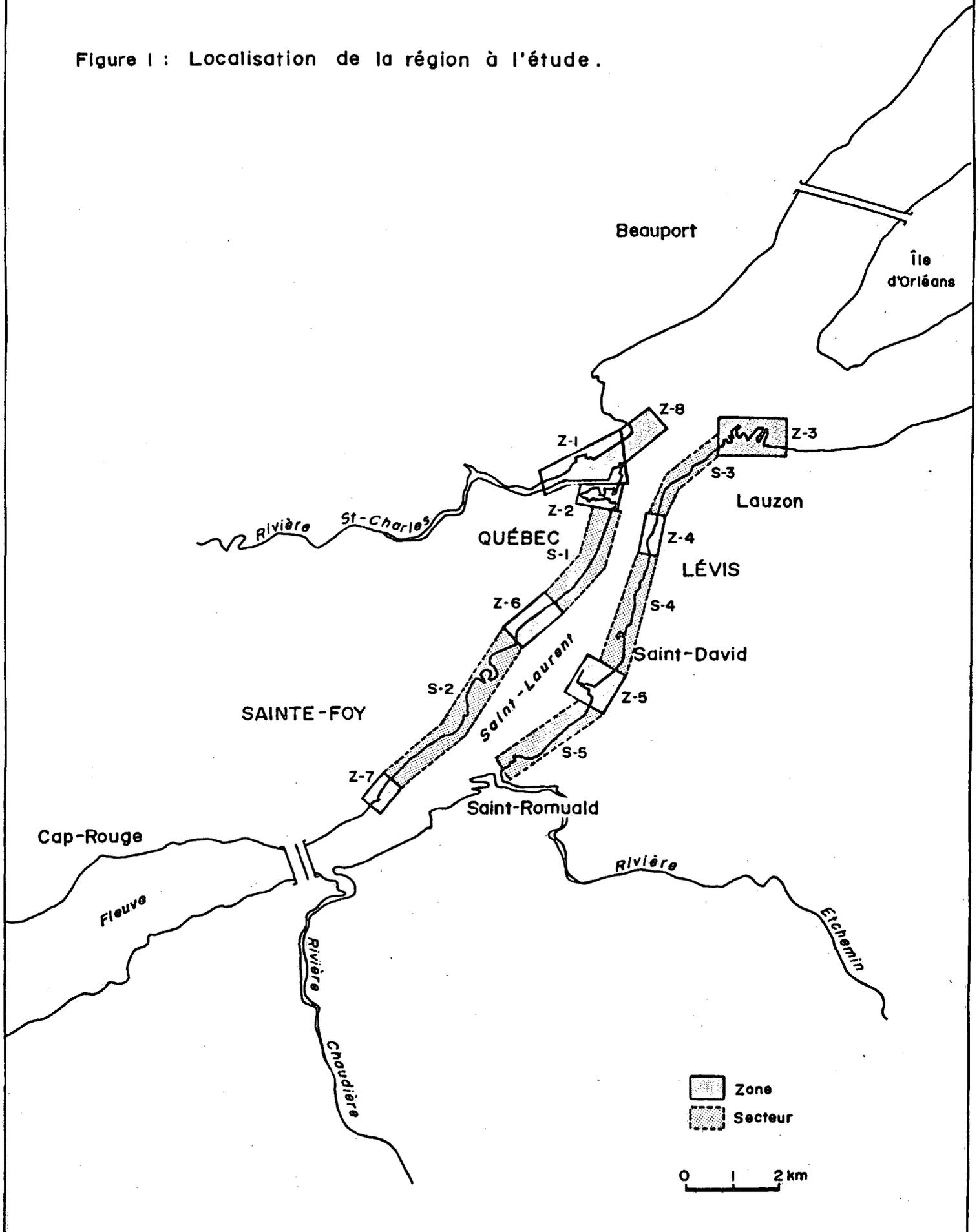
Ce rapport présente les résultats de cette étude de caractérisation. Les méthodes et les résultats du contrôle de qualité sont d'abord décrits. Les résultats sont présentés en trois parties. La première partie consiste essentiellement en une synthèse des données antérieures. La deuxième traite des données morpho-sédimentologiques acquises lors des relevés de terrain. La troisième partie présente les résultats des analyses relatives aux paramètres de la qualité des sédiments.

Les sources probables de la dégradation de la qualité des sédiments sont discutées et la priorisation des interventions est par la suite synthétisée.

2. REGION A L'ETUDE

Les limites de la région à l'étude s'étendent, sur la rive nord, de l'estuaire de la rivière Saint-Charles et le site du projet d'extension du port de Québec jusqu'au quai Irving à Sillery. Sur la rive sud, le territoire étudié s'étend de l'Anse-aux-Sauvages jusqu'à l'estuaire de la rivière Etchemin (Figure 1).

Figure 1 : Localisation de la région à l'étude .



### 3. PROBLEMATIQUE

Le degré de contamination des sédiments en milieu aquatique est déterminé en grande partie par l'importance des apports anthropiques et par la nature même des sédiments.

Dans le port de Québec, comme dans la plupart des zones portuaires, les apports anthropiques sont de sources multiples:

- rejets industriels et municipaux (solides et liquides);
- déversements accidentels reliés aux activités maritimes et portuaires;
- apports des tributaires et de la partie amont du fleuve;
- apports atmosphériques.

De même, la nature des sédiments représente la résultante de plusieurs processus naturels incluant l'hydrodynamique du milieu et l'apport des différents tributaires. Elle résulte aussi d'activités anthropiques modifiant la distribution naturelle des sédiments. Parmi ces activités, le dragage et le largage des sédiments, le remblayage des rives, les modifications de l'écoulement naturel par la présence de structures submergées et les apports anthropiques de matières particulières sont les principaux responsables de ces modifications.

L'ensemble des facteurs et des processus responsables de la qualité des sédiments est relativement facile à localiser spatialement. Par contre leur variabilité temporelle est beaucoup plus difficile à déterminer puisqu'elle s'inscrit à l'intérieur d'une histoire relativement ancienne. L'histoire du développement du port de Québec commence au début de la colonisation de la Nouvelle France et correspond à l'expansion du premier pôle industriel et commercial de l'Amérique du Nord.

Les chapitres qui suivent présentent un bilan sommaire du développement et des activités du port et précisent les apports de contaminants qui leur sont reliés. Ils présentent ensuite la situation actuelle de la nature et de la qualité des sédiments. Ces connaissances sont ensuite intégrées dans une évaluation de l'origine et des sources probables de la contamination. Les recommandations se rapportant aux interventions potentielles et à l'ensemble du dossier sont présentées en fin de rapport.

4. OBJECTIFS

Les objectifs spécifiques poursuivis à l'intérieur de cette étude sont:

- de caractériser la nature, l'étendue et le degré de contamination des sédiments dans le port de Québec;
- d'inventorier et d'identifier l'origine et les sources probables de la contamination des sédiments;
- de prioriser les zones d'interventions dans la perspective d'un plan de décontamination.

## 5. DONNEES ANTERIEURES

Ce chapitre présente de façon synthétique l'historique du développement du port et l'ensemble des données déjà existantes sur les apports de contaminants et la qualité des sédiments.

### 5.1 INVENTAIRE DES DONNEES

L'inventaire des données a été réalisé par des contacts et des recherches auprès des principaux organismes impliqués directement ou indirectement dans le port de Québec. Parmi ceux-ci, citons entre autres la Société du Port du Québec et les ministères de l'Environnement du Canada et du Québec. Une liste détaillée des personnes ressources consultées est reportée à l'annexe A.

Cette recherche nous a permis d'obtenir les documents de base ainsi que les documents cités. L'analyse de cette documentation a été synthétisée sous forme d'une carte placée en pochette réunissant les caractéristiques majeures de la contamination (carte 1).

### 5.2 HISTORIQUE DE DEVELOPPEMENT

De 1608 à 1805, les travaux d'aménagement du port de Québec furent laissés à l'initiative individuelle des intérêts privés, qui procédèrent sans aucun plan d'ensemble selon leurs besoins du moment. Diverses entreprises s'établirent sur la berge de la rivière Saint-Charles et sur la rive nord du fleuve St-Laurent, de chaque côté de ce qui est aujourd'hui devenu la Pointe-à-Carcy.

En 1805, le gouvernement canadien fonda la Maison de la Trinité, "Trinity House", qu'il chargea d'administrer, d'améliorer et d'agrandir le port. Ce n'est qu'en 1858 que la Commission du Havre de Québec fut mise sur pied. Chargée elle aussi d'administrer le port, elle exerça ses fonctions concurremment avec "Trinity House" jusqu'en 1876, année à partir de laquelle on lui accorda des pouvoirs exclusifs.

Le volume du trafic en 1875 fut de 775 navires pour un volume total manutentionné de près de deux millions de tonnes. Un tel volume de trafic exigeait toutefois des services efficaces et des aménagements beaucoup plus considérables.

C'est en 1877 que peu après son entrée en fonction officielle, la Commission du Hâvre entreprit le plus important agrandissement du port: la construction du bassin Princesse Louise. Les travaux se terminèrent en 1890.

Le bassin comprenait à l'époque une jetée qui fermait l'un des deux chenaux principaux de la rivière Saint-Charles. On y installe en 1885 un ouvrage comprenant des portes qui séparent le bassin extérieur du bassin intérieur.

La principale activité reliée au site du bassin Louise était la manutention et le transbordement du charbon. Des grues sur rails occupaient la partie du fond (N-O) du bassin. La configuration du bassin intérieur occupait à l'époque un espace beaucoup plus grand que la configuration actuelle (remplissage des années '80).

Les activités reliées au transbordement du charbon se sont effectuées pendant une période allant du début du siècle (1900) jusqu'en 1971, avec une forte concentration de celles-ci dans le bassin intérieur. Par contre, le charbon en vrac était aussi manutentionné le long des quais N-E du bassin extérieur et le long des quais SW de l'embouchure de la Saint-Charles (aujourd'hui quai 20-22 et 30-31 voir localisation des quais sur carte 1 en pochette). La cie Canadian Import a opéré ces activités de transbordement depuis le début du siècle jusqu'en 1971.

Sur la jetée centrale, la manutention du grain et des céréales vient s'ajouter au transbordement du charbon. La cie Bunge y installe en 1913 des silos, lesquels seront agrandis en 1917, 1928, 1959 et 1967. Le transbordement se fait du coté de l'estuaire de la Saint-Charles (quais 28-29).

Enfin sur cette jetée centrale viendront s'installer d'abord la cie Morton avec son chantier naval qui opérera une rampe de mise à l'eau et par la suite l'Arsenal au début de la 2ième guerre mondiale.

La mise à l'eau des bateaux nécessitait le graissage des rampes, activité qui contamine l'eau d'une quantité importante d'huiles et graisses. Quant à l'Arsenal, il faut dire que les principaux matériaux utilisés furent le zinc et le cuivre. La coupe de ces métaux nécessitait des huiles de coupe pouvant contenir des BPC.

L'autre rive de la Saint-Charles était occupée par l'Anglo Pulp, entreprise de pates et papiers qui s'y installa en 1929. On ne connaît pas le site des rejets liquides de cette époque même si aujourd'hui ces rejets sont reliés au diffuseur de la C.U.Q. et font l'objet d'un contrôle par la direction de l'assainissement industriel du MENVIQ.

En 1931, on compléta la construction, plus à l'ouest, du terminus de l'Anse-aux-Foulons, comprenant des quais servant à la manutention des marchandises de toutes sortes, en particulier le pétrole et l'essence, ainsi qu'un vaste

entrepôt et un centre d'accueil des passagers. La gare maritime Champlain, inaugurée en avril 1959, compléta les aménagements de l'Anse-aux-Foulons.

Entre 1958 et 1978, le port de Québec développa les battures de Beauport et construisit les quais 50 à 54. Les principales activités dans le secteur étaient reliées au transbordement, à la manutention et l'entreposage de produits solides et liquides en vrac, tels que:

- solides: Minerais de nickel, de fer (en boulettes), de cuivre, de zinc et de charbon
- liquides: produits pétroliers, produits pétrochimiques

La configuration actuelle du Port comprend les mêmes activités dans l'estuaire de la Saint-Charles, sauf pour les quais 30-31, qui servent autant de quais de service que de quais d'entreposage.

Par contre, le bassin Louise ne comporte plus d'activité de transbordement proprement dit. Il est plutôt affecté aux services (remorquage, garde-côte, etc.) pour ce qui est du bassin extérieur et à une marina de plaisance aménagée dans les années 1980 dans le bassin intérieur.

Depuis 1980, une canalisation souterraine relie le bassin Louise à l'estuaire de la Saint-Charles. Par contre elle n'est pas opérationnelle. Enfin du point de vue historique, il faut ajouter que le Port s'est développé à l'embouchure de la Saint-Charles parce que le bassin de la rivière Saint-Charles constituait un site privilégié de localisation industrielle.

En effet depuis la fin du siècle dernier, plusieurs industries étaient localisées le long des rives de la rivière Saint-Charles. Celles-ci rejetaient leurs eaux usées dans la rivière. Des industries telles que:

- les tanneries;
- l'Arsenal (Zn, Cu);
- Good Year;
- Hydro-Québec;
- Fx Drolet (fonderie).

Certaines de ces industries utilisaient des huiles usées qu'elles rejetaient à la rivière de sorte que la rivière Saint-Charles devint rapidement un égout à ciel ouvert.

### 5.3 APPORTS DE CONTAMINANTS ET QUALITE DES SEDIMENTS

La région du port de Québec a été subdivisée en différentes zones et secteurs (figure 1). Les zones circonscrivent des entités géographiques relativement homogènes caractérisées par un haut potentiel de contamination (tableau 1). Les secteurs représentent des segments littoraux situés à l'extérieur des zones identifiées.

Les sections qui suivent résument les données disponibles sur les apports de contaminants et la qualité des sédiments par zone et par secteur. Le tableau no 2 présente, pour chacune des unités du port, les différentes activités susceptibles d'influencer la qualité du milieu et les contaminants potentiellement introduits dans le milieu. Les résultats des analyses de la qualité des sédiments sont reportés au tableau no 3. La localisation des prélèvements, les statistiques des résultats analytiques et les apports de contaminants sont illustrés sur la carte 1 en pochette.

#### 5.3.1 Estuaire de la rivière St-Charles (Zone 1)

La zone de l'estuaire de la rivière Saint-Charles est caractérisée par une activité industrielle (papeterie Daishowa) et portuaire (chargement et déchargement de navires) assez intense et elle a fait l'objet de plusieurs études relatives aux impacts des travaux de dragage (Roche, 1983b, 1987, 1988; Poulin, Thériault, 1987; Laboratoire de Génie Sanitaire, 1984) et d'études géotechniques (Laboratoire de Construction Inc., 1976; Hamelin, 1985).

On trouve dans cette zone les principales activités de transbordement, de manutention et d'entreposage de produits solides et de liquides en vrac. (Bunge, Intertank, Cie d'arrimage St-Laurent, IGS, Division Pétroles Stevas).

#### **Apports de contaminants**

La zone de la rivière Saint-Charles est considérée comme la zone la plus active du port au point de vue industriel. Les apports en contaminants proviennent de plusieurs sources potentielles:

- les rejets industriels de la Papeterie Daishowa (anciennement Reed et Anglo Pulp), qui totalisent un débit journalier de l'ordre de 130 000 m<sup>3</sup>/j. (MENVIQ, 1986). Ces rejets se déversent maintenant au fleuve par l'émissaire de la CUQ. Les principaux paramètres quantifiés sont (en Kg/jour):

Tableau 1 Définition des zones et des secteurs du port de Québec

---

<u>No</u>	<u>Définition</u>
<u>Zones</u>	
Zone 1	Estuaire de la rivière St-Charles
Zone 2	Bassin Louise (intérieur et extérieur)
Zone 3	Chantiers M.I.L. Davie à Lauzon
Zone 4	Quais de Lévis
Zone 5	Quai d'Ultramar
Zone 6	Gare Maritime Champlain
Zone 7	Quai d'Irving
Zone 8	Extension Port de Québec - Battures de Beauport

---

<u>Secteurs</u>	
Secteur 1	de la rivière St-Charles à la Gare Maritime Champlain
Secteur 2	de la Gare Maritime Champlain au quai Irving
Secteur 3	des quais de Lévis aux chantiers M.I.L. Davie à Lauzon
Secteur 4	du quai d'Ultramar aux quais de Lévis
Secteur 5	de la rivière Etchemin au quai d'Ultramar

---

Tableau 2. Activités et contamination potentielle des différentes zones du port de Québec.

SECTEUR	ZONE	QUAI#	PROPRIETAIRE	LOCATAIRE	ACTIVITES	CONTAMINANTS
ESTUAIRE DE LA ST-CHARLES	1		PORT DE QUEBEC S.P.Q.	BUNGE DU CANADA	Transbordement de grain	
		18			déchargement	
		29			déchargement	
		28			chargement des navires océaniques	
BEAUPORT	1		NOTE: On trouve dans ce secteur les principales activités de transbordement, de manutention et d'entreposage de produits solides et liquides en vrac.			
			VRAC SOLIDES: Minerais Ni, Fe, Cu, Zn, Charbon et rebus métalliques			
			VRAC LIQUIDES: Produits pétroliers, Produits pétrochimiques ; styrène, xylène, toluène Huiles végétales, produits inorganiques, explosifs			
		52	S.P.Q.	CIE D'ARRIMAGE ST-LAURENT	Déchargement/chargement des navires	Fe
		53				Cu
					Manutention et entreposage en vrac	Zn
					Eaux pluviales non-canalisées	Pb
						Charbon
				Coke, sel		
50		IGS, DIVISION PETROLES STEVAS	Entreposage de produits pétroliers réservoirs (4) cap.tot.=61916m.cub. réservoirs (4) cap.tot.=68267m.cub	essence		
				diésel		
50		FALCONBRIDGE LTEE DIVISION CANADIAN NICKEL	Manutention et entreposage du concentré Ni	Ni		
50		INTERTANK LTEE	Entreposage de produits chimiques liquides organiques et inorganiques réservoirs (27)	soude caustique acide sulfurique styrène toluène huiles minérales huiles animales		
		PAPETERIE REED LTEE	Pâtes et papiers Déversements	solides en susp. DCO, N, PO4 Huiles&graisses Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn Fe, Mn Hg Phénols		

Tableau 2 (suite) Activités et contamination potentielle des différentes zones du port de Québec.

SECTEUR	ZONE	QUAI#	PROPRIETAIRE	LOCATAIRE	ACTIVITES	CONTAMINANTS
ANSE-AUX-FOULONS	6	107	PORT DE QUEBEC S.P.Q.	ULTRAMAR	Essence-Distribution locale par camion réservoirs (7) cap.tot.=37706m.cub. Déchargement des bateaux	Essence
		108		ULTRAMAR	réservoirs (5) cap.tot.=57154m.cub. Déchargement des bateaux	Huile à chauffage domestique
		108		ULTRAMAR	réservoirs (3) cap.tot.=57154m.cub. Poste de pompage réservoirs (3) cap.tot.=57154m.cub. Déchargement des navires	huile lourde #6  huile lourde #6
RIVE SUD	5	86 87	S.P.Q.	ULTRAMAR	Transbordement de produits pétroliers Tuyauterie aérienne pompe de transfert réservoir mousse chimique 9100 li. Déversement EMISSAIRE controle	objets de control solides en susp. DCO N PO4 Huiles & Graisses Cr Fe Cu Ni Pb Cd Hg Mn Zn Phénols
RIVE SUD	3	Murphy Cale sèche Champlain Lorne	M.T.P.	M.I.L.DAVIE	Reliées a la construc- tion navale soudure décapage au jet peinture	Hydrocarb. lourds graisses

Tableau 3. Synthèse des données antérieures sur la qualité des sédiments du port de Québec.

REGION	ZONE	REF./ANNEE	STATION	PROF. (m)	PARAMETRE	As	BPC	Cd	C org	Cr	Cu	CN	HAP	H&G	Hg	P	Pb	Sol.Vol	Zn	Gravier	Sable	Silt et	
					Unités	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
					CRITERES	3	0.05	5	15000	70	30	0.1	2.5	1000	0.3	420	20	50000	80				
					Accep.	6	0.1	8	50000	90	60	0.25	2.5	2000	1	650	60	80000	175				
RIVE NORD																							
ESTUAIRE DE LA RIV.ST-CHARLES	1	ROCHE 1988	A		0.5	0.05	1.9	46000	87	73				570	0.08	1100	66	98000	409				
			B		1.4	0.12	4.2	41000	56	63				250	0.12	1040	54	99000	338				
			C		1.2	0.03	2.6	41000	77	68				250	0.06	1180	46	109000	328				
Echantillonnage du 17/10/85			A		1	0.364			28	100		0.4		7700	0.14					8	39	53	
			B		0.5	0.37			34	83		0.4		5900	0.62					2	48	50	
			C		0.7	0.781			22	140		0.5		8700	0.02					3	44	53	
			D		0.5	0.702			25	85		0.2		3100	0.66					11	51	38	
			E		0.6	1.06			120	100		0.3		3400	0.56					11	33	56	
Echantillonnage du 18/09/86			1			0.403	4.6				120			4600			113		426	4	48	48	
			2			0.348	4.2				108			4900			103		436	1	28	71	
			3			0.202	3.3				75			4200			77		388	2	49	49	
			4			0.21	5.9				98			5200			101		446	6	60	34	
			5			0.186	4.8				107			7200			96		433	6	36	58	
			6			0.461	4.9				110			5800			113		440	2	24	74	
			7			0.257	3.9				22			5000			96		413	4	58	38	
			8			0.27	3.1				95			7000			270		409	3	54	43	
			9			0.173	2.7				81			5400			82		398	10	51	39	
ESTUAIRE DE LA RIV ST-CHARLES	1	ROCHE 1983	8		0.45		0.3	6600	7	13				785	0.3	680	7	13000	70				
			9		1.69		5.2	120300	61	156				6200	0.6	930	134	187000	1320				
			10		1.01	0.182	3.2	354200	37	79				1300	0.17	750	78	544000	844				
			11		3.05		6.5	42100	46	298				6200	0.65	1400	160	182000	2100				
			12		2.01		7.4	100800	47	198				7200	0.83	1340	142	196000	2150				
ESTUAIRE DE LA RIV.ST-CHARLES	1	POULIN, THERIAULT 1987	1	3	1.5	0.171	0.2	1800	14	29				470	0.6		74	7000	56				
			2	5	2.1	0.245	0.6	38900	232	43				3000	0.61		128	58400	194				
			3			0.141																	
			4			0.106																	
			5	6	1.8	0.343	0.2	1800	11	8					250	0.18		44	4500	37			
			6			0.21																	
			7			0.666																	
			8			0.007																	
			9	3	2.1	0.043	1.3	7600	24	27					560	0.6		51	28600	140			
			10	1	3	2.405	1.2	8700	27	57					1400	1.08		77	34100	339			
			11			1.602																	
			12			0.093																	
			13			0.409																	
			14			0.867																	
			MIN		0.45	0.007	0.2	1800	7	8	0.2		250	0.02	680	7	4500	37	1.0	24.0	34.0		
			MAX		3.05	2.405	7.4	354200	232	298	0.5		8700	1.08	1400	270	544000	2150	11.0	60.0	74.0		
			AVG		1.40	0.421	3.3	62369	53	90	0.4		3946	0.44	1053	96	120046	551	5.2	44.5	50.3		

Tableau 3 (suite). Synthèse des données antérieures sur la qualité des sédiments du port de Québec.

REGION	ZONE	REF./ANNEE	STATION	PROF.(m)	PARAMETRE	As	BPC	Cd	C org	Cr	Cu	CN	HAP	H&G	Hg	P	Pb	Sol.Vol	Zn	Gravier	Sable	Silt et	
					Unités	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%												
					CRITERES	3	0.05	5	15000	70	30	0.1		1000	0.3	420	20	50000	60				
					Accep.	6	0.1	8	50000	90	60	0.25	2.5	2000	1	650	60	80000	175				
SECTEUR GARE MARI-TIME/QUAI IRVING																							
Marina Sillery	ROCHE 1982	ENVIROLAB	1			0.36	0.05	0.9	29500	56	46			820	0.37	550	43	81000	199				
			2			1.21	0.06	1.7	32500	68	49			710	0.82	680	50	78000	220				
			3			0.26	0.04	0.6	7000	17	13			530	0.17	620	23	16000	77				
Amont Sillery	SERODES 1978		1						900	37.5	10.2				0.228				32	3.5	96.5	0	
			2						10100	59.2	21.7				0.066		5		81	3.8	44.3	51.9	
																		5					
			MIN			0.26	0.04	0.6	900	17.0	10.2				530	0.066	550	5	16000	32	3.5	44.3	0.0
			MAX			1.21	0.06	1.7	32500	68.0	49.0				820	0.820	680	50	81000	220	3.8	96.5	51.9
			AVG			0.61	0.05	1.1	16000	47.5	28.0				687	0.331	617	30	58333	122	3.7	70.4	26.0
SECTEUR BATTURES DE BEAUPORT																							
SECTEUR BATTURES DE BEAUPORT	ROCHE 1983		A			0.4	0.048	2.3	25000	24	40			670	0.4		85	44000	304	0	6.2	93.8	
			B			3.2	0.063	2.7	34100	47	94			1920	0.42		136	102000	448	0	2	98	
			C			0.7	0.018	0.7	11000	22	30			400	0.33		33	30000	195	0.3	56.2	43	
			D			1	0.037	1.2	18700	30	31			460	0.28		77	33000	189	0.5	18.1	81.3	
			E			3	0.003	0	4100	6	6			250	0.24		26	9000	23	2.6	97.3		
			F			2.1	0.12	0.2	9900	16	106			1000	0.5		32	15000	695	0.9	86.7		
SECTEUR BATTURES DE BEAUPORT	SERODES 1978		1						3100		1.5				0.02	390				4	95	1	
			2							4300					0.042	323				36	64	0	
			3							3600						420				12	88	0	
			4						18300							1268				0	49	51	
			5						5100							488				1	89	10	
			6						3600		6.1				0.074	517	4		77	6	89	5	
			7						2300	67.9	10				0.039	1240			65				
			8						11000							613				1	97	2	
			9						3600							739				1	91	8	
			10						3100		12				0.11	732	2		9	2	93	5	
			11						2700							921				10	51	39	
			12						11600		7.7				0.12	1394	11		57	1	78	21	
			13						13900							1366				2	69	29	
			MIN			0.40	0.003	0.0	2300	6.0	1.5			250	0.020	323	2	9000	9	0.0	2.0	0.0	
			MAX			3.20	0.120	2.7	34100	67.9	106.0			1920	0.500	1394	136	102000	695	36.0	97.3	98.0	
			AVG			1.73	0.048	1.2	9947	30.4	31.3			783	0.215	801	45	38833	206	4.5	67.8	30.4	

Tableau 3 (suite). Synthèse des données antérieures sur la qualité des sédiments du port de Québec.

REGION	ZONE	REF./ANNEE	STATION	PROF.(m)	PARAMETRE	As	BPC	Cd	C org	Cr	Cu	CN	HAP	H&G	Hg	P	Pb	Sol.Vol	Zn	Gravier	Sable	Silt et				
					Unités	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	Argile	
					CRITERES	3	0.05	5	15000	70	30	0.1		1000	0.3	420	20	50000	60							
					Non-accep.	6	0.1	8	50000	90	60	0.25	2.5	2000	1	650	60	80000	175							
RIVE SUD																										
CHANTIER M.I.L. DAVIE Quai Murphy	3	HAMELIN 1987	F 1.1	0.53	10	0.198	6.4		64	68		0.1	105.4	0.2			57.7	81	239	0	5	95				
			F 1.2	0.99	10	0.25	5.9		80	215		2.06	38.3	0.2				78.8	79.1	254	0	3	97			
			F 1.3	1.45	10	0.207	5.1		64	60		4.8	127.7	0.2					73	85	250	0	11	89		
			F 1.4	1.91	10	0.102	4.4		25	32		6.34	164.9	0.2					47.4	45.2	110	0	12	88		
			F 2.1	0.6	10	0.27	5.8		70	63		0.64	91.5	0.2					62	87.5	242	0	10	90		
			F 2.3	2.73	10	0.007	5.6		35	38		0.1	13	0.2					54	79.3	129	0	65	35		
			F 3.1	0.54	6	0.0428	1.03		95.6	26.6		5.2	71.2	0.2					138	85.2	207	0	31	69		
			F 3.2	1.02	5.8	0.0297	0.8		54.1	23.8		11	276.3	0.2					66	65	165	0	26	74		
			F 15.1	0.46	5.4	0.0945	0.86		23.4	8.1		4.8	63.4	0.2					79	84.9	181	0	16	84		
			F 15.2	0.92	4.9	0.228	0.88		10.8	12.4		4	81.8	0.2					54	38	177	0	24	76		
			F 15.3	1.38	5.1	0.154	0.77		37	22.9		6.7	170.5	0.2					55	91.3	193	0	21	79		
			F 15.4	1.84	5.5	0.148	0.8		36.1	13.3		4.6	97.5	0.2					61	85.6	181	0	16	84		
			F 4.1	0.6	5.8	0.115	1.69		64	26.1		0.1	19.1	0.2					68	86.6	226	0	9	91		
			F 4.2	1.06	5.8	0.041	0.83		64	18.3		0.7	29.4	0.2					80	88.6	156	0	16	84		
			F 4.3	1.52	4.6	0.017	0.65		49.6	28.6		4.1	78.1	0.2					57	55.2	114	0	44	56		
			F 4.4	1.98	5		0.65		34.3	22				0.2					55		128					
			F 5.2	0.92	5.8	0.0556	1		57.7	22.5		7.9	211.3	0.2					61	87.8	194	0	23	77		
			F 5.4	1.98	5.4	0.0558	0.85		47.8	25.7		4	54.6	0.2					62	78.8	180	0	46	54		
			F 5.5	2.44	5.2	0.071	0.68		30.7	22.9		6.2	111.6	0.2					58	84	125	0	56	44		
			F 6.1	0.46	5.5		1.12		51.4	19				0.2					70		203					
			F 6.2	0.92			0.086					2.9	47.6	0.2												
			F 6.3	1.84	6.3	0.089	0.89		41.5	17.2		5	74.3	0.2						68	86.6	185	0	18	82	
			F 6.4	2.3										0.2							93.6					
			F 6.5	2.76	6	0.013	0.85		28	9.2		1	31.9	0.2						80	87.4	158	0	36	64	
			F 16.1	0.46	5.2	0.071	0.91		18.9	6.7		3.9	56.3	0.2						53	83.1	181	0	12	88	
			F 16.2	0.92	1	0.106	0.06	0.92	1	41.6		7.3	69.7	0.2						6	92	1	0	21	79	
			F 16.3	1.38	5.1	0.17	0.94		31.6	9.8		4.6	63	0.2						47	84.3	187	0	15	85	
			F 16.4	1.84			0.138					4.6	86.7	0.2							131		35	11	54	
			F 7.1	0.92	5.2	0.077	1		38.8	17.4		4.5	69.2	0.2						68	84.3	197	0	8	92	
			F 7.3	2.2	6.3	0.24	1.17		22.5	2.6		6.3	110.8	0.2						66	86	216	0	34	66	
F 7.4	3.12	6.1	0.078	0.9		45.1	11.6		2.2	52.1	0.2						72	84.2	184	0	32	68				
F 8.1	0.6	5.7	0.086	1.08		40.6	18.3		2.7	257.7	0.2						52	86	199	0	10	90				
F 8.3	1.84	6	0.252	1.06		58.6	17.4		7.5	150.3	0.2						86	85	199	0	33	67				
F 8.4	2.9	10.9	0.096	1.37		64	1		5	129.3	0.2						147	88.2	372	0	42	58				
F 9.1	0.6	5.5	0.154	1.14		44.2	22.2		11.3	250	0.2						72	88.5	207	0	56	43				
F 9.2	1.36	5.6	0.185	1.16		47.8	12.7		4.9	69	0.2						63	166	201	0	7	93				
F 10.1	0.6	5.2	0.075	0.85		23.4	11.3		5.5	83.1	0.2						60	87.2	178	0	29	71				
F 10.2	1.66	5.4	0.217	0.85		36.1	11.6		6.6	112.3	0.2						59	73.4	176	0	18	82				
F 10.3	2.12	5.1	0.156	0.69		15.3	13.7		4.5	96.6	0.2						62	86.8	163	0	34	12				
F 11.1	0.46	5.2	0.065	0.82		26.1	8.1		4	71.6	0.2						55	84.8	182	0	23	77				
F 11.3	1.67	5.7	0.197	0.72		13.5	8.7		6.8	307.7	0.2						64	86.87	172	0	30	70				
F 11.5	2.89	4.5	0.023	0.57		8.1	24.9		2	40.7	0.2						55	62.6	121	0	39	61				
CHANTIER M.I.L. DAVIE Cale sèche Champlain	3	Lab. de Génie Sanitaire du Québec 1984	E 1		2.3	0.253	1.1	16600	55	32.7				190	0.155	1150	25.1	60000	37.8							
			E 2		2.6	0.221	2	18200	88.9	50.2				147	0.215	1025	37.3	90000	188							
			E 3		3.2	0.221	1.8	20800	71.2	60.5				324	0.235	1300	48.4	60000	81.5							
			MIN		1.00	0.007	0.1	16600	1	1				0	13	0.16	1025	6	38	1	0.0	3.0	12.0			
			MAX		10.90	0.270	6.4	20800	96	215				11	324	0.24	1300	147	90000	372	35.0	65.0	97.0			
AVG		5.95	0.128	1.6	18533	43	28				5	112	0.20	1158	64	5078	177	0.9	24.8	72.8						

Tableau 3 (suite). Synthèse des données antérieures sur la qualité des sédiments du port de Québec.

REGION	ZONE	REF./ANNEE	STATION	PROF.(m)	PARAMETRE	As	BPC	Cd	C org	Cr	Cu	CN	HAP	H&G	Hg	P	Pb	Sol.Vol	Zn	Gravier	Sable	Silt et	
					Unités	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%												
					CRITERES	3	0.05	5	15000	70	30	0.1		1000	0.3	420	20	50000	60				
					Accep.	6	0.1	8	50000	90	60	0.25	2.5	2000	1	650	60	80000	175				
					Non-accep.																		
SECTEUR QUAI DE LEVIS/ULTRAMAR																							
Marina de Lévis	ROCHE 1982	ENVIROLAB	E 1			1.67	0.093	1.6	24800	32	37			1520	0.61	910	38	42000	155				
			E 2			0.83	0.016	1.2	11200	24	16			750	0.32	1060	24	30000	50				
			E 3			2.11	0.049	1.4	22400	32	30			1200	0.41	890	33	47000	108				
Marina de Lévis	LAB.DE GENIE SANITAIRE 1983		S 1	0		3	0.03	2.21		35	19.2			865	0.26	1077	26.8	43000	138		14.6	85.4	
				0.5		2	0.03	1.31		23.6	14.4		519	0.14	923	10.4	41000	75		8.6	91.4		
			S 2	1		3	0.03	1.52		21.6	15.7		300	0.03	828	9.09	26000	72.2		12.6	87.4		
				0		3	0.03	1.45		27.6	17.7		304	0.06	1003	22	33000	112		10.6	91.4		
			S 3	0.5		2.5	0.03	1.22		27.8	10.6		413	0.01	994	10.9	44000	76.6		12.2	87.8		
				1		3.5	0.03	1.82		23.7	15.4		295	0.01	888	8.26	40000	97.5		0.6	98.4		
			S 3	0		3	0.03	1.52		33	17.9		604	0.05	1095	21.7	37000	127		20.6	79.4		
				0.5		2	0.03	1.21		25.4	8.83		444		934	9.12	42000	71.2		13.2	86.4		
				1		20	0.03	1.17		25.2	9.04		164		984	8.97	40000	72.9		14.6	85.4		
Marina de Lévis	L.I.E.1982		F 1	2.9																5	41	54	
			F 2	2																			
			F 3	5		3.5		1.16		16.5	11.7			0.03		4.98	16000	56	32	54	14		
			F 4	0.5		4		1.28		20.4	12.7					7.28	19000	72.9	0	15	85		
			5																0	2	98		
F 5	2		3		1.42		22.7	16.7			0.03		8.98	26000	76.7	0	18	82					
Ultramar Riv.Etchemin Riv.Chaudière	SERODES 1978		S 1						98.1	39							24		168	2.8	3.9	58.1	
			S 2					25500	76.8	43.6			0.045	1800	33		168		168		7	93	
			S 3					14000	69.1	20			0.021	900	9		76		76	0.7	60.4	35.9	
			MIN			0.83	0.016	1.2	11200	17	9				164	0.01	828	5	16000	50	0.0	0.6	14.0
MAX			20.00	0.093	2.2	25500	98	44				1520	0.61	1800	38	47000	168	32.0	60.4	98.4			
AVG			3.81	0.036	1.4	19580	35	20				615	0.14	1020	17	35067	99	5.8	18.2	77.2			

	Kg/jour
M.E.S.	55322
solides décantables	49208
P. total	77
azote N <sub>t</sub> /Kj	1346
DBO <sub>5</sub> totale	70627
DBO <sub>5</sub> dissoute	66775
DCO totale	330792
Al	199
Ca	11934
Cu	3,5
Fe	378
Mg	828
Mn	96
K	687
Na	9185
Zn	5,8
Huiles et graisses	2147
Hydrocarbures	972
SO <sub>4</sub>	15016
Tannins	30812
Chlorures	13488
Cyanures	0,64
Phénols	26

Une analyse des substances toxiques prioritaires réalisées par le MENVIQ (1986) a révélé des concentrations hors normes pour les substances suivantes:

- phénol;
  - 2 méthoxyphénol;
  - terpinéols;
  - eugénol;
  - CHCl<sub>3</sub>;
  - tétrachloroéthylène;
  - BPC (arachlor 1241).
- les déversements accidentels reliés aux activités maritimes et portuaires. Des documents récents (1988-1989) de la Société du Port de Québec font allusion à des déversements accidentels survenus aux quais 28, 30 et 50 de l'estuaire de la Saint-Charles impliquant des substances diverses telles que:
- toluène;
  - hydrocarbures;
  - styrène;

- l'apport de la rivière Saint-Charles

Selon Lavallée et Lessard (1984), chaque débordement du réseau unitaire de la CUQ en période de pluie abondante introduirait environ 15 000 kg de matière en suspension, 7000 kg de DCO et 4 kg de cuivre dans la rivière Saint-Charles. Cet apport serait responsable en partie de la dégradation de l'estuaire de la rivière Saint-Charles.

**Qualité des sédiments**

Les sédiments constituant le fond de l'estuaire de la rivière Saint-Charles sont composés principalement de sable (44.5%), de boue (50.3%) et de gravier (5.2%) auxquels est lié une fraction plus ou moins importante de résidus ligneux (Lab. Construction de Québec, 1976).

Les données disponibles sur la qualité des sédiments révèlent des anomalies pour les paramètres suivants: (Roche, 1988; Poulin Thériault, 1981)

- carbone organique;
- solides volatils;
- huiles et graisses;
- BPC;
- phosphore total;
- cuivre;
- zinc;
- plomb;
- chrome;
- mercure;
- cyanures;
- arsenic;
- cadmium.

L'analyse comparative des concentrations des différents paramètres chimiques par rapport aux critères proposés (Vigneault 1978; S.P.E. Environnement Canada) démontre une mauvaise qualité des sédiments.

Les données existantes sont surtout concentrées à l'intérieur de l'estuaire, au quai # 30-31 et 50, et au quai de la Papeterie Daishowa (Roche, 1988).

De plus des forages exécutés à l'emplacement du quai projeté par le Ministère des transports du Québec situé en amont du quai 31 ont démontré une contamination en BPC jusqu'à une profondeur de 3 mètres dans cette zone (Poulin Thériault, 1987).

### 5.3.2 Bassin Louise (Zone 2)

Le bassin Louise est un secteur du Port où l'activité industrielle est moins intense que le secteur de l'estuaire de la rivière Saint-Charles. Le bassin est subdivisé en 2 parties; le bassin intérieur, occupé par la marina de Québec et le bassin extérieur qui sert à abriter les navires de services. Ce dernier comporte les quatre (4) quais suivants:

- quai 14 : services portuaires
- quai 17 : garde Côtière Canadienne
- quai 19 : attente
- quai 20 : réparations mineures et hivernage

Les deux bassins sont séparés par une écluse.

#### **Apports de contaminants**

Compte tenu de la nature des activités dans cette zone (amarrage des différents navires), les apports en contaminants semblent limités aux déversements accidentels de carburant (S.P.Q - Intervention d'urgence, 1985-89; Cas de pollution, 1975 à 82).

Par contre, les données historiques indiquent que pendant plusieurs années (1890 à 1970) le bassin intérieur a servi principalement au transbordement et à l'entreposage de charbon sur toute la longueur du quai 4 et son prolongement vers l'ouest.

#### **Qualité des sédiments**

Aucune donnée n'est disponible sur la qualité et la nature des sédiments dans cette zone.

### 5.3.3 Chantiers M.I.L. Davie (Zone 3)

La zone 3 est située sur la rive sud entre la pointe de Lévy et l'Anse-aux-Sauvages. Elle est occupée par les Chantiers Maritimes M.I.L. Davie qui utilisent 2 cales sèches (cale sèche Lorne et cale sèche Champlain). D'importantes activités de construction et d'assemblage de navires, de plate-formes de forage, de réacteurs pour la pétrochimie et d'autres structures sont effectuées sur les terrains attenants aux cales sèches. On y procède à des travaux de soudure, de décapage au jet de sable et de peinture (C.P. Environnement Canada, 1988).

## Apports de contaminants

Peu de données existent sur les apports en contaminants pour les activités reliées aux chantiers maritimes M.I.L. Davie si ce n'est que des opérations de graissage des rampes de lancement. Cette opération cause le rejet au fleuve d'une grande quantité d'hydrocarbures lourds. A titre d'exemple en 1982, 2.2 tonnes de graisses ont été utilisées pour cette opération (C.P. Environnement Canada, 1988).

Roche Envirobec (1985) mentionne, dans son rapport sur la caractérisation et l'évaluation des rejets aux installations de Lauzon, la pollution de l'air par les activités de décapage au jet de sable et par la peinture au pistolet dans les cales sèches. Ces activités pourraient éventuellement introduire en milieu aquatique des "particules contaminés par des écailles de métaux et de peinture".

## Qualité des sédiments

Les données disponibles sur la qualité des sédiments proviennent des études d'impact des travaux de dragage au quai Murphy et devant la cale sèche Champlain (Hamelin, 1987; Laboratoire de Génie Sanitaire du Québec, 1984).

L'analyse comparative des résultats montrent des teneurs élevées pour:

- les solides volatils;
- le phosphore;
- l'arsenic;
- le cadmium;
- le chrome;
- le cuivre;
- le plomb;
- le zinc;
- carbone organique total;
- les BPC;
- les HAP;
- les hydrocarbures.

### 5.3.4. Quais de Lévis (Zone 4)

La zone 4 est composée des quais # 81, # 82 et # 83. Seul le quai 82 est utilisé par la société des traversiers du Québec. Les 2 autres quais ne sont pas utilisés. Durant l'hiver des déversements de neige usée sont effectués au quai # 81.

Aucune donnée n'est disponible sur la qualité des sédiments et sur les apports en contaminants.

### 5.3.5. Quai d'Ultramar (Zone 5)

La zone 5 est située sur la rive sud à la hauteur de Saint-David. Elle est occupée par les installations de chargement de produits pétroliers (quai #87) de la cie Ultramar.

#### **Apports de contaminants**

L'effluent de l'unité de traitement des eaux usées de la raffinerie se déverse dans le fleuve au niveau des eaux profondes. L'émissaire de cette usine fait l'objet d'une surveillance depuis 1977 en vertu du règlement relatif aux effluents des raffineries de pétrole (C.P. Environnement Canada, 1988).

L'effluent des eaux usées de la raffinerie déverse au fleuve un débit moyen qui varie entre 4 et 8 millions de litres par jour. Les paramètres faisant l'objet d'un suivi sont (MENVIQ, rapports mensuels sur les rejets):

- solides en suspension;
- carbone organique total;
- huiles;
- phenols;
- sulfures;
- azote;
- ammoniac;
- pH.

Selon les rapports mensuels consultés, entre 1988 et 1989, certaines normes (moyenne journalière) sont parfois dépassées (solides en suspension). Il est de plus important de signaler certains déversements accidentels dont celui du navire "Czantoria" en 1988 où 2,000 barils de pétrole furent déversés dans le Saint-Laurent (S.P.Q., Notes de service interne, 1988).

#### **Qualité des sédiments**

Les données disponibles dans cette zone sont limitées à un seul point d'échantillonnage (Sérodès, 1978).

Les analyses chimiques ont montré des valeurs élevées pour les métaux suivants:

- chrome;
- cuivre;
- plomb;
- zinc;
- huiles et graisses;
- mercure;

Il est à noter que les analyses chimiques sont incomplètes puisqu'il n'y a pas de valeurs pour l'arsenic, les BPC, le cadmium, le carbone organique, les cyanures, le phosphore et les solides volatils.

#### 5.3.6 Gare maritime Champlain (Zone 6)

La zone 6 est située sur la rive nord dans l'Anse-aux-Foulons. Elle couvre les quais no 101 à 108. On trouve dans le secteur du port des installations d'entreposage de produits divers, solides et liquides. L'activité principale de transbordement est l'expédition de marchandises générales, la distribution de produits pétroliers (Ultramar) et de sel de déglacage (Mines Seleine).

#### **Apports de contaminants**

Peu de données sont disponibles dans la zone 6 sur les apports en contaminants si ce n'est que les rapports de déversements accidentels mentionnent des rejets d'hydrocarbures entre 1975 et 1982 (S.P.Q., Notes de service interne, 1988).

#### **Qualité des sédiments**

Aucune donnée n'est disponible sur la qualité des sédiments dans cette zone.

#### 5.3.7 Autres zones et secteurs

La zone 7 constituée par le quai Irving situé sur la rive nord à l'extrémité ouest de la zone à l'étude est considérée comme un secteur à haut potentiel. Elle comporte un quai de déchargement de produits pétroliers. Toutefois, aucune donnée n'est disponible sur la qualité des sédiments et les apports en contaminants.

En ce qui concerne les autres zones et secteurs, ils sont composés des sections comprises entre les zones à haut potentiel décrites précédemment ou des sections adjacentes:

- Rivière St-Charles- gare maritime Champlain;
- Gare Maritime Champlain-quai Irving;
- Rivière Etchemin - quais Ultramar;
- Quais Ultramar - quais de Lévis;
- Quais de Lévis-M.I.L. Davie;
- Extension du Port de Québec-Battures de Beauport.

Les données existantes étant dispersées, nous ne traiterons pas de chacun des secteurs individuellement mais nous traiterons globalement chacune des rives (nord et sud).

Les données disponibles proviennent principalement de Sérodes (1978), d'Envirolab (1982) et Laboratoire de Génie Sanitaire (1983).

### **La rive nord**

Pour les apports de contaminants, les données disponibles sont limitées aux rapports de déversements accidentels principalement de nature pétrolière (S.P.Q.) et sont concentrées aux quais de la Reine (Flotte de la garde côtière canadienne et traversier Québec-Lévis), de même qu'au quai Irving. Le quai # 22 et le remblai à l'ouest de la Pointe à Ruisseaux auraient été le siège de déversement de neige usée.

Quant à la qualité des sédiments, les analyses antérieures montrent des teneurs élevées en mercure, phosphore, cuivre, plomb, zinc, solides volatils, carbone organique total et BPC dans la marina de Sillery (Envirolab, 1982). Les analyses chimiques réalisées par Serodes (1978) montrent des valeurs sous la limite acceptable sauf pour le zinc. Il est à noter que la liste des paramètres analysés par Sérodes reste incomplète.

### **La rive sud**

Il existe très peu de données sur les apports en contaminants dans les secteurs de la rive sud. Des données ont été publiées sur la qualité des eaux des rivières Chaudière et Etchemin (Gouin et Malo, 1977). De plus on connaît l'existence de certains déversements de neige usée en amont notamment à Saint-Romuald.

En ce qui concerne la qualité des sédiments sur la rive sud, les données disponibles proviennent de la marina de Lévis et de l'embouchure des rivières Etchemin et Chaudière (Serodes, 1978; Envirolab, 1982 et Laboratoire de Génie Sanitaire, 1983).

Dans la marina de Lévis, l'analyse comparative des résultats montre des valeurs élevées pour les BPC, le cuivre, chrome, les huiles et graisses, le mercure, le plomb, le phosphore et le zinc.

Les analyses comparées des échantillons prélevés dans les embouchures des rivières Etchemin et Chaudière montrent des valeurs élevées en chrome, cuivre, plomb et zinc.

Enfin le secteur des battures de Beauport a fait l'objet d'études dans le cadre du projet d'extension du Port de Québec (Roche, 1983; Pluram, 1981). L'analyse des données disponibles sur la qualité des sédiments dans le secteur de Beauport (Serodes, 1978) montrent des valeurs élevées pour les paramètres suivants:

- arsenic;
- cuivre;
- mercure;
- plomb;
- zinc;
- carbone organique total;
- huiles et graisses

En plus d'autres paramètres tels que phosphore, solides volatils et BPC présentent des concentrations élevées pour certains points d'échantillonnage (Roche, 1983).

#### 5.4 SYNTHÈSE

La carte-synthèse (carte 1) des données antérieures présente les statistiques de base des différents paramètres analysés (moyenne, maximum et minimum) pour chaque zone et/ou secteur. De plus, cette carte montre les sources potentielles de contamination.

Suite à l'analyse de ces statistiques, on peut tirer les conclusions suivantes:

- chacune des zones inventoriées présentent des concentrations de contaminants dans les sédiments dont les valeurs dépassent la limite d'acceptabilité;
- certaines zones présentent des concentrations dont les valeurs dépassent même la limite de non-acceptabilité fixée par Vigneault et al (1978) dans le cas de dépôts de matériaux de dragage en eau libre (estuaire de la rivière St-Charles et chantier M.I.L. Davie);
- les contaminants se situant soit très près ou au dessus des limites d'acceptabilité sont:
  - . arsenic;
  - . cadmium;
  - . chrome;
  - . cuivre;
  - . cyanure;
  - . mercure
  - . plomb;

- . zinc;
- . carbone organique total;
- . huiles et graisses;
- . BPC;
- . HAP;
- . phénols;
- . phosphore;
- . solides volatils.

- les zones où la contamination est élevée sont situées dans des secteurs où l'activité industrielle et portuaire est intense.

Les résultats de l'analyse des données disponibles démontrent que l'environnement aquatique du port de Québec est contaminé par plusieurs sources potentielles:

### **Les rejets industriels**

Les rejets industriels affectent trois zones en particulier soit: les zones 1,3 et 5. La papeterie Daishowa dans l'estuaire de la rivière St-Charles déverse au fleuve un volume d'eaux usées de l'ordre de 30 000 m<sup>3</sup>/jour. Les principaux contaminants rejetés sont cités au tableau 2. Les chantiers M.I.L. Davie dans la zone 3 utilisent de grandes quantités d'hydrocarbures lourds pour le graissage des lits. La compagnie Ultramar Canada déverse au fleuve des quantités d'eaux usées de l'ordre de 4 à 8 millions de litres/jour.

### **Les déversements accidentels**

Les déversements accidentels reliés aux activités maritimes et portuaires sont constitués principalement d'hydrocarbures et s'étendent à toutes les zones à haut potentiel. Dans la zone 1, la nature des substances manutentionnées peut provoquer des déversements de produits toxiques autres que les dérivés du pétrole (styrène, toluène, cuivre, nickel et zinc).

### **Les rejets municipaux**

Les diffuseurs de Ste-Foy et de Québec déversent des volumes moyens respectifs d'environ 95 et 410 millions de litres par jour. La charge journalière moyenne de matières en suspension de ces rejets est respectivement de l'ordre de 6 et 100 tonnes métriques (Roche, 1983). Les rejets se propagent jusqu'à 8 à 12 km à l'amont des points de sortie à marée montante en fonction de l'intensité de la marée, alors qu'à marée descendante les effluents sont entraînés jusqu'à 30 km vers

l'aval.

A ces diffuseurs s'ajoutent les émissaires de Sillery et Beauport pour lesquelles aucune donnée précise n'est disponible à l'heure actuelle. De plus, il faut mentionner l'apport non négligeable des déversements de neiges usées dans le fleuve qui ont encore cours dans la région de Québec. Ces rejets seraient responsables de l'introduction dans le milieu aquatique de quantité appréciable de plomb, de fer, de zinc, d'huiles et graisses et de phosphore (Min. Environnement, 1983).

### **Les tributaires**

Les tributaires tels que les rivières St-Charles, Etchemin et Chaudière amènent lors des crues des matières en suspension qui peuvent être contaminées par différents rejets (industriels, municipaux, agricoles).

### **L'apport de contaminants par l'amont du fleuve**

Bien que la qualité des eaux situées en amont de Québec fasse l'objet d'un monitoring par la Direction générale des Eaux Intérieures d'Environnement Canada (1984) aucun bilan massique des contaminants introduits n'est encore disponible. Quelques résultats partiels semblent indiquer que certains toxiques organiques comme les pesticides organochlorés et les BPC transitent actuellement dans la zone portuaire de Québec.

### **Les apports atmosphériques**

La quantification de ces apports est actuellement très mal connue. Toutefois à une échelle très locale, ces apports seraient relativement importants (ex: apports atmosphériques dus au décapage au jet de sable et peinture au pistolet aux chantiers M.I.L. Davie)

## 6. METHODOLOGIE

Ce chapitre résume l'approche méthodologique utilisée dans les étapes de réalisation de l'étude à l'exception des méthodes utilisées pour la détermination des sources probables de contamination et la priorisation des zones d'intervention. Pour ces deux cas, l'approche méthodologique est décrite à l'intérieur des chapitres correspondants.

### 6.1 PLAN D'ECHANTILLONNAGE

Le plan d'échantillonnage définitif a été conçu principalement à l'aide des résultats de la revue de la documentation existante présentée au chapitre précédent. De plus, le plan d'échantillonnage s'est basé sur les principes suivants:

- les zones à haut potentiel de contamination doivent être couvertes par un échantillonnage relativement plus dense;
- les secteurs situés à l'extérieur des zones à haut potentiel doivent faire l'objet d'un échantillonnage moins dense visant à mettre en évidence toute contamination qui n'aurait pu être présumée.

Le potentiel de contamination a été défini selon les facteurs suivants:

- présence de sources ponctuelles actives importantes;
- présence de sources ponctuelles passées importantes;
- présence de sources diffuses;
- activités portuaires (déversements accidentels).
- faible hydrodynamisme- sédimentation fine;
- contamination des sédiments rapportés antérieurement.

Le tableau no 4 présente la caractérisation du potentiel de contamination des différentes zones et secteurs ayant mené à la sélection du niveau d'effort d'échantillonnage dans chacune des zones et des secteurs.

La répartition spatiale des stations est présentée à la figure 2. La numérotation des stations est caractérisée par un premier chiffre indiquant le numéro de la ligne et un deuxième numéro spécifique à la station.

Tableau 4 Niveau d'effort de l'échantillonnage en fonction du potentiel de contamination des zones et des secteurs.

	Sources ponctuelles actives	Sources ponctuelles passees	Sources diffuses	Activites portuaires ou navales	Granulometrie fine	Contamination rapportee anterieurement	Effort d'échantillonnage		
							Benne	Carottier	Total
Zone 1	2	2	2	2	2	1	24	12	36
Zone 2	1	2	0	2	2	?	16	7	23
Zone 3	2	1	0	2	2	1	16	6	22
Zone 4	1	1	0	1	0	0	3	0	3
Zone 5	2	1	0	2	2	1	15	6	21
Zone 6	1	1	1	2	1	?	15	4	19
Zone 7	1	1	0	1	0	?	4	0	4
Zone 8	0	1	2	0	0	1	8	0	8
Secteur 1	1	1	1	1	0	?	5	0	5
Secteur 2	1	1	1	1	1	2	12	8	20
Secteur 3	0	0	0	0	0	?	1	0	1
Secteur 4	0	0	2	1	2	0	9	5	14
Secteur 5	0		2	0	2	1	11	8	19
Echantillonnage total:							139	56	195

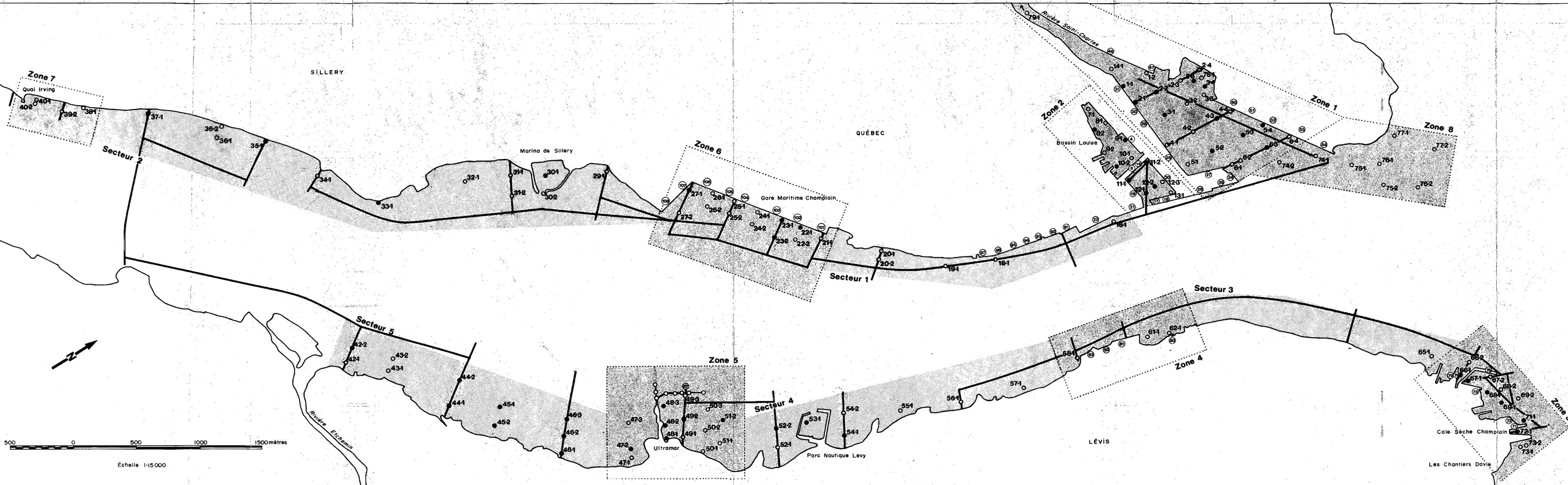
           : Facteur important  
 1 : Facteur significatif  
 0 : Facteur negligeeable  
 ? : Aucune donnee

CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS  
DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no. 2

Localisation des zones et des secteurs du port de Québec, des stations d'échantillonnage des sédiments et de relevés géophysiques

-  Zone d'étude
-  Secteur d'étude
-  Tracés des relevés géophysiques
-  Prélèvement à la benne
-  Prélèvement au carottier
-  Numéro de station
-  Numéro de quai



Ce plan d'échantillonnage est de type systématique. Dans les zones à haut potentiel, l'espacement entre les sections est de 200 mètres et l'espacement entre les stations est étalé sur toute la largeur de la zone littorale. De plus nous avons tenté, dans la mesure du possible, d'obtenir un patron d'échantillonnage en quinconce afin de maximiser la distance entre les stations.

Dans les secteurs situés à l'extérieur des zones à haut potentiel, les sections sont perpendiculaires au trait de côte et sont espacées de 500 m. Le nombre de stations sur une même section est proportionnel à la largeur de la plate-forme riveraine (profondeur de 0 à 15 m). A la Pointe de Lévy, après analyse des résultats des relevés par sismique-réflexion, nous avons diminué l'effort d'échantillonnage à cause de la présence de roc.

Toutes les stations échantillonnées étaient situées à des profondeurs inférieures à 15 mètres sauf quelques stations à l'embouchure de la rivière Saint-Charles. Ces stations se situent d'ailleurs dans une zone où le contexte hydrodynamique favorise la sédimentation et où les sédiments analysés se sont révélés fortement contaminés.

## 6.2 ECHANTILLONNAGE ET RELEVES

### 6.2.1 Période des travaux et logistique

L'ensemble des travaux de terrain a été effectué entre le 26 avril et le 2 juin 1989.

Les relevés sismiques ont été effectués à la fin avril, du 26 au 30, alors que l'échantillonnage des sédiments a débuté le 5 mai et s'est terminé le 2 juin.

La barge "Procéan", une barge catamaran de 22' propulsée par un moteur hors-bord de 35 forces (35 H.P.) a été utilisée pendant toute la période des travaux. La barge était équipée d'un puit central surmonté d'un derrick (amovible) de 4 mètres de haut et de 2 treuils manuels pour l'échantillonnage. L'utilisation d'une telle barge a permis une bonne efficacité compte tenu de la stabilité et de la position centrale de l'équipement de levage.

Aucune difficulté majeure n'a perturbé l'échantillonnage si ce n'est des périodes de pluie et de vent intense (nord-est) qui ont retardé le déroulement de travaux pendant quelques jours durant le mois de mai. Pendant la période des travaux, 25 jours de travail ont permis de réaliser les relevés et l'échantillonnage des sédiments. Le personnel affecté aux travaux était constitué de 2 équipes, soit une équipe d'échantillonnage composée de trois personnes et une équipe de positionnement à terre constituée de une à deux personnes. Les chimistes spécialistes en chimie organique et inorganique ont tous deux participé aux deux premières journées d'échantillonnage pour valider la méthode d'échantillonnage.

### 6.2.2 Positionnement

Le positionnement des stations a été effectué par la méthode angle-distance à partir d'un point de départ établi sur la rive par relèvement au sextant sur 3 amers de position connue. Pendant les relevés et l'échantillonnage, l'angle était donné par un alignement (2 poteaux rouges installés à 10m de distance) par rapport au nord magnétique. La distance relevée au télémètre SOKISHA (RED-2L) était retransmise par radio à l'équipe de la barge. La précision obtenue dans des conditions favorables était de l'ordre de 3 mètres ( $\pm 1.5m$ ). Les positions des stations échantillonnées sont reportées à l'annexe B.

### 6.2.3 Relevés géophysiques

Des relevés sismiques ont été effectués avant l'échantillonnage, afin de déterminer la nature et la distribution spatiale des sédiments (texture, épaisseur, interface entre les différentes couches) des différentes zones et secteurs du port de Québec. Les relevés ont été effectués entre le 26 avril et le 30 avril 1989 et ont couvert la moitié des lignes d'échantillonnage. L'instrumentation utilisée était de type Boomer (Ferranti-ORE-Geopulse) et constituée d'un receveur acoustique (Acoustic-receiver # 5210), d'un bloc d'alimentation (PS-5420A), d'un transducteur (Acoustic source 5813A), d'hydrophones (Streamer 5110) et d'une table graphique (EPC-1600). L'appareil était calibré à puissance moyenne (105 joules) et la réception couvrait les fréquences de 700Hz à 5KHz, afin d'obtenir la meilleure résolution dans des sédiments meubles en eau peu profonde.

Parallèlement aux relevés sismiques, des relevés bathymétriques étaient effectués au moyen d'un échosondeur Raytheon 719-C et enregistrés sur échogramme.

Les lignes relevées apparaissent sur la figure 2 et la localisation est précisée à l'annexe B. Plusieurs sections transversales ont été ajoutées de façon à couvrir l'ensemble des zones et secteurs.

Au total, 32 km dont 11.6 km de lignes perpendiculaires et 20.4 km de lignes parallèles à l'axe du fleuve ont été couverts par les relevés géophysiques. Ces relevés ont permis de préciser la nature et la morphologie du matériel de surface. Ces informations ont permis de valider le plan d'échantillonnage et de caractériser les conditions hydrodynamiques de la région à l'étude.

### 6.2.4 Echantillonnage

Les techniques d'échantillonnage suivantes ont été utilisées suivant les caractéristiques du site et la profondeur sélectionnée:

- échantillonnage de surface effectué au moyen d'une benne Van de Veen modifiée à 50 kg échantillonnant une surface de 0.1 m<sup>2</sup> et pénétrant jusqu'à environ 30cm;
- échantillonnage en profondeur effectué au moyen d'un carottier, pouvant pénétrer jusqu'à 1,5 mètre de type "Benthos" avec 40kg de poids supplémentaire et doté d'un diamètre de 6cm;

- échantillonnage à marée basse des zones et secteurs asséchants effectué à la pelle ou au carottier à main.

Chacun des échantillons prélevés a été sous-échantillonné à des profondeurs standards de 0 à 10cm (surface), 20 à 30cm (mi-profondeur) et 40 à 50cm (profondeur) lorsque l'échantillon était homogène. Lorsque l'échantillon présentait des variations texturales visibles à l'oeil nu, les sous-échantillons étaient prélevés dans chacune des couches présentes.

Les prélèvements, la répartition des échantillons dans les récipients et le mode de conservation des échantillons ont été effectués selon le protocole décrit dans Rochon et Chevalier (1987).

Au total, 195 stations ont été visitées, celles-ci étant réparties sur 77 lignes. Le plan original prévoyait 175 stations sur 73 lignes. Quelques lignes supplémentaires ont été ajoutées dans la zone des battures de Beauport, à la demande des autorités du port de Québec et selon une entente avec le délégué scientifique d'Environnement Canada.

Enfin, quelques modifications ont été apportées au plan d'échantillonnage original pour compenser les stations qui avaient été placées sur des sites où le roc et/ou les blocs ne permettaient aucun prélèvement tel que déterminé avec les relevés géophysiques.

Les stations d'échantillonnage où un prélèvement a été réussi sont représentées sur la figure no 2. L'annexe C présente les stations échantillonnées par secteur et zone avec la profondeur, le type, le nombre d'essais et une description macroscopique de tous les échantillons récoltés.

La numérotation utilisée pour les échantillons réunit le numéro de ligne (1 à 77), le numéro de la station (1 à 6 max.) et un numéro se référant à la profondeur (1= surface, 2= 20-30cm, 3= 40-50cm).

### 6.3 ANALYSES EN LABORATOIRE

L'analyse des échantillons de sédiments fut divisée en trois classes de paramètres, soient les paramètres granulométriques, les paramètres inorganiques et les paramètres organiques. Comme les techniques analytiques utilisées pour chacun de ces paramètres sont différentes, nous les traiterons individuellement.

#### 6.3.1 Paramètres granulométriques

Afin de caractériser les sédiments, le pourcentage de particules fines (incluant le silt et l'argile) a été déterminé sur les échantillons dont la quantité de sédiments, après sous-échantillonnage pour analyse chimique, le permettait. Sur 156 analyses, tous les échantillons de surface et quelques échantillons en profondeur furent analysés. La méthode utilisée était le tamisage humide sur tamis de 63 microns et sur tamis de 2mm, puis le séchage et la pesée du matériel passant (Folk, 1974). Le pourcentage d'humidité a été déterminé par pesée du matériel total avant et après séchage.

#### 6.3.2 Paramètres inorganiques

Les échantillons ont été analysés afin de mesurer la présence de différents composés inorganiques. Les composés analysés sont les suivants:

- Métaux: cuivre, zinc, plomb, nickel, chrome, cadmium, mercure, arsenic.
- Cyanures.

La fraction des sédiments conservés dans les contenants en plastique et destinée à l'analyse des paramètres inorganiques a été dégelée juste avant l'analyse, numérotée, décantée et homogénéisée de façon manuelle. Une portion d'échantillon a été mise à sécher à 105°C pour être ensuite broyée mécaniquement à l'aide d'un mortier en porcelaine "shatter box" et tamisée sur tamis de nylon de 80 mailles/po<sup>2</sup> (mesh #80).

Le pourcentage d'humidité a été calculé sur cette fraction. La portion restante a été conservée dans les contenants originaux et réfrigérée pour l'analyse du mercure et des cyanures.

Tableau no 5 Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres inorganiques

PARAMETRE	METHODE D'ANALYSE	REFERENCE	LIMITE DE DETECTION
Cyanures	Distillation-colorimetrie	EPA 335.2	0.2 mg/kg et plus
Arsenic	Digestion-génération d'hydrure	STM 303 E	1 mg/kg
Cadmium	Digestion-absorption atomique à la flamme	STM 303 A	1 mg/kg
Chrome	Digestion-émission atomique à plasma	STM 305	1 mg/kg
Cuivre	Digestion-absorption atomique	STM 303 A	3 mg/kg
Mercuré	Vapeur froide	BEST 1979	0.02 mg/kg
Nickel	Digestion-émission atomique à plasma	STM 305	5 mg/kg
Plomb	Digestion-absorption atomique à la flamme	STM 303 A	15 mg/kg
Zinc	Digestion-émission atomique à plasma	STM 305	2 mg/kg

STM: Standard methods for the examination of water and waste, 16e édition, 1985  
 EPA: Methods for the analysis of water and wastewater, 1983.  
 BEST: Bureau d'étude sur les substances toxiques.  
 LECO: Manuel du fabricant.

Les méthodes d'analyses utilisées sont présentées au tableau no 5 et la description détaillée du protocole analytique pour chacun des types d'analyse est jointe à l'annexe D de ce rapport.

### 6.3.3 Paramètres organiques

Etant donné la complexité et le coût élevé des analyses de la fraction organique dans les sédiments, nous avons élaboré une stratégie d'analyse caractérisée par une double approche:

#### - Organiques globaux

Nous avons d'abord effectué une couverture détaillée de l'ensemble du port afin de localiser les sites de pollution maximale. Cette couverture complète était basée sur les paramètres organiques globaux suivants:

- Carbone organique total (C.O.T.)
- Huiles et graisses totales et minérales (H.G. tot. et H.G. min.)
- Halogènes organiques totaux (T.O.X.)

Les méthodes analytiques sont décrites au tableau no 6 et ont été réalisées sur tous les échantillons récoltés. Ces résultats ont permis de sélectionner les sites les plus contaminés et de préciser la variabilité spatiale déterminante dans l'évaluation globale de la contamination.

#### - Organiques fins

La phase suivante consiste à identifier et à quantifier par des analyses fines, sur les échantillons qui se sont révélés contaminés lors de l'étape précédente, des composés toxiques provenant de différentes sources spécifiques. Les critères de sélection des analyses fines à partir des résultats des analyses de paramètres organiques globaux ont été:

- une bonne représentativité de toutes les zones et secteurs;
- l'importance relative des résultats des paramètres globaux.

Tableau 6

Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres organiques globaux.

<u>PARAMÈTRE</u>	<u>MÉTHODE</u>	<u>RÉFÉRENCE</u>
Carbone organique total	Combustion Dosage par infra-rouge	Walton, 1980
Huiles et graisses totales	Extraction Dosage par infra-rouge	Standard Methods for the examination of water and wastewater 16th edition, 1985, Methode 503 D
Huiles et graisses minérales	Fractionnement sur silice Dosage par infra-rouge	Standard Methods for the examination of water and wastewater 16th edition, 1985, Methode 503 E
Halogènes organiques totaux (TOX)	Absorption et purification. Dosage par titrage micro-colorimétrique	Standard Methods for the examination of water and wastewater 16th edition, 1985 Method 506

Ces analyses fines ont porté sur les séries chimiques de composés organiques suivants:

- Hydrocarbures aliphatiques (H. Ali.);
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP);
- Biphényles polychlorés (BPC);
- Pesticides organochlorés (OC)

Avant les analyses, les échantillons de sédiments ont été décantés et séchés à 40°C durant une nuit. Les sédiments secs ont ensuite été passés sur tamis de 2 mm afin de les homogénéiser et d'enlever les particules grossières. Un échantillon de 50 grammes est ensuite prélevé, extrait et analysé selon les méthodes présentées au tableau no 7. L'annexe F présente les procédures détaillées d'analyse pour chacun des paramètres organiques fins.

#### 6.3.4 Plan d'assurance de la qualité des analyses

Les mesures suivantes ont été mises en place afin d'optimiser la qualité et la fiabilité des analyses des contaminants:

- Analyse du mercure faite en duplicata pour tous les échantillons. La moyenne des deux essais a été retenue;
- Analyse en triplicata sur le même échantillon à tous les 15 échantillons pour les autres métaux, le C.O.T. et les huiles et graisses;
- Analyse d'un blanc de digestion à tous les 15 échantillons pour les métaux;
- Analyse de 2 sédiments standards (MESS, PACS et BCSS) à tous les 15 échantillons pour les métaux;
- Analyse de 2 extraits liquides de référence (WP586 et WP 1170/1182) à tous les 40 échantillons pour les cyanures.
- Vérification de la variabilité entre les deux méthodes utilisées (Dorhman et Paprican) et du pourcentage de récupération pour les TOX;
- Introduction d'étalon interne pour les analyses organiques;

Tableau 7 Méthodes analytiques utilisées pour les paramètres organiques fins.

<u>Paramètres</u>	<u>Méthode</u>
Hydrocarbures aliphatiques (C15 à C36)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraction avec (CH<sub>2</sub>Cl<sup>2</sup>) au bain à ultra-sons</li> <li>- Chromatographie en phase gazeuse haute résolution avec détecteur d'ionisation de flamme (GC-FID)</li> </ul>
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	
Biphényles polychlorés (BPC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraction avec CH<sub>2</sub>Cl<sup>2</sup> au bain à ultra-sons</li> <li>- Chromatographie en phase gazeuse haute résolution avec détecteur à capture d'électrons (GC-ECD)</li> </ul>
Pesticides organochlorés (OC)	

- Analyses d'échantillons de contrôle par un laboratoire externe (Zenon) pour les analyses inorganiques et organiques;
- Rapport du laboratoire portant sur:
  - précision et exactitude
  - contrôle de qualité

Ce rapport inclut les courbes d'étalonnage pour les paramètres inorganiques et les chromatogrammes pour les organiques. Les différents rapports portant sur la description de méthodes et le contrôle de qualité sont présentés aux annexes D à H.

#### 6.3.5 Justification et validité de l'approche utilisée pour les paramètres organiques

L'approche du dosage des paramètres organiques globaux (carbone organique total, huiles et graisses minérales et totales et halogènes organiques totaux) combinée avec les analyses fines des micropolluants spécifiques donne des informations complètes sur la nature et le niveau de la contamination et est justifiée ci-dessous.

Le **carbone organique total** est un paramètre prépondérant qui indique d'une part la charge totale en matière organique dans un sédiment et d'autre part qui contrôle ou régit le devenir d'un bon nombre de polluants organiques hydrophobes et lipophiles (composés organochlorés, HAP etc.).

La charge totale en matière organique (mesurée par COT) peut en soi renseigner sur le niveau de la contamination sans toutefois préciser la nature et les structures chimiques en jeu. De plus la covariabilité du COT avec d'autres paramètres est un facteur essentiel dans l'établissement des nombreux indices de la pollution.

Les **huiles et graisses** totales et minérales sont des paramètres globaux qui renseignent sur la charge totale en lipides minéraux et biologiques extractibles avec du trichlorofluoroéthane (fréon). Ces paramètres s'avèrent importants dans la détermination de la pollution pétrolière des zones portuaires. De plus, l'autre avantage de cette mesure réside dans le fait qu'elle englobe toutes les fractions du pétrole brut (volatiles et lourds).

Marchand et al (1986) postulent qu'un sédiment contenant plus de 700 ppm d'huiles et graisses totales peut être considéré comme contaminé. Cependant la simple mesure globale ne permet pas de faire la part des hydrocarbures biogènes de ceux

d'origine pétrolière.

La mesure des **halogènes organiques totaux (TOX)** est utilisée pour évaluer la quantité totale de matériel organique halogéné. La présence de composés organiques halogénés est indicative de la contamination par des substances chimiques synthétiques (anthropogéniques), qui reflète directement la pollution de l'environnement. Les composés halogénés qui contribuent entre autres à cette mesure sont: hydrocarbures aromatiques halogénés comme benzène (HCB), benzène polyaromatique, biphényles polychlorés (BPC), chlorophénols, halo et bromométhanes (THM), pesticides et herbicides chlorés et bromés.

Cette mesure ne renseigne pas sur la nature précise, ni sur la structure chimique de composés organiques halogénés mais en général une mesure positive du TOX (supérieure à 20 ppm) indique le besoin d'identification et de quantification des composés spécifiques par la chromatographie en phase gazeuse à haute résolution (CPGHR) et la spectrométrie de masse (CPG-SM).

En général on peut conclure que les paramètres organiques globaux sont des mesures utilisées dans les programmes de surveillance et d'évaluation de la qualité du milieu permettant de traiter un grand nombre d'échantillons avant que des analyses spécifiques (et souvent beaucoup plus complexes) soient faites. Ces mesures permettent d'évaluer l'échelle spatiale de la contamination et de dresser sa distribution géographique préliminaire. Enfin ces mesures sont relativement précises (en général de 5 à 15%) et sensibles. La précision des paramètres globaux est nettement supérieure aux paramètres fins, la précision de ces derniers étant de l'ordre de 25%. Par contre la simple mesure globale ne permet pas de distinguer les sources spécifiques de la pollution, d'identifier sa nature, de constater la présence de certaines substances toxiques spécifiques ni d'évaluer les risques environnementaux. Les analyses fines des composés organiques permettent d'obtenir ces informations. Ainsi l'approche qui consiste à combiner ces deux types d'analyses se justifie scientifiquement, techniquement et économiquement.

Afin de vérifier la validité de cette approche nous avons étudié le coefficient de corrélation entre les valeurs des différents paramètres organiques globaux et fins. Après avoir vérifié la non-normalité des données, nous avons procédé au calcul des corrélations de Spearman entre les différents paramètres. Les résultats du calcul sont présentés au tableau 8.

Avec un intervalle de confiance de 2%, les valeurs obtenues montrent des corrélations positives et significatives entre

TABLEAU 8 Corrélations de Spearman entre les paramètres organiques globaux et fins.

GLOBAL	BPC	H.ALI	HAP	OC
T.O.X.	0.38	0.37	0.30	0.08
H & G TOT.	0.42	0.55	0.49	0.01
H & G MIN.	0.53	0.73	0.57	0.04
C.O.T.	0.73	0.68	0.66	0.01

■ : Significatif à un intervalle de confiance de 2 %.

▨ : Significatif à un intervalle de confiance de 5 %.

le COT et les teneurs en BPC, en hydrocarbures aliphatiques et en HAP. De même, les huiles et graisses totales et minérales sont significativement corrélées avec les BPC, les hydrocarbures aliphatiques et les HAP.

En diminuant l'intervalle de confiance à 5%, on observe une corrélation significative et positive entre les résultats pour les analyses d'halogènes organiques totaux (T.O.X.) et ceux des BPC et des hydrocarbures aliphatiques.

Ces résultats confirment les travaux de nombreux auteurs ayant travaillé sur le carbone organique total (Boehm et Requejo, 1986; Barrick et Prehl, 1987; Boehm et Farrington, 1984) et le TOX (Jekel et Roberts, 1980).

Enfin, seul les résultats de pesticides totaux ne montrent aucune corrélation avec les concentrations en paramètres organiques globaux. Cela peut s'expliquer par les faibles teneurs en pesticides rencontrées dans les sédiments du port de Québec. En effet, pour la grande majorité des pesticides, les résultats étaient inférieurs à la limite de détection.

Par conséquent, les teneurs en paramètres organiques globaux constituent des critères adéquats pour évaluer de façon préliminaire la contamination des échantillons. Ces paramètres globaux permettent de sélectionner adéquatement les échantillons qui doivent subir ultérieurement des analyses organiques fines.

## 6.4 EVALUATION DE LA QUALITE DES ANALYSES

Les résultats des analyses ont fait l'objet de vérifications détaillées afin de s'assurer de la qualité des analyses. Lors des analyses, les triplicata devaient montrer un coefficient de variation inférieur à 15% pour que la méthode analytique soit considérée comme précise.

Les analyses des sédiments de référence devaient montrer un coefficient de variation inférieur à 15% pour les paramètres inorganiques et organiques globaux par rapport aux valeurs certifiées pour être considérées exactes. Pour que les analyses organiques fines soient considérées exactes, le coefficient de variation était fixé à 25%. Les données qui ont servi à cette évaluation sont reportées à l'annexe E pour les analyses inorganiques et organiques globales et à l'annexe H pour les analyses organiques fines.

### 6.4.1 Analyses inorganiques et analyses organiques globales

#### - Contrôle de qualité interne du laboratoire.

##### **Blancs**

Les blancs d'analyses préparés et analysés par le laboratoire ne révélaient aucune contamination pour les composés suivants:

Arsenic, cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb et mercure.

##### **Triplicata**

Les triplicata donnent des résultats précis, pour les métaux suivants, comme le montre le coefficient de variation (C.V.) moyen des triplicata:

As= 8,7%	Pb= 9,6%
Cu= 6,4%	Zn= 5,4%
Cr= 6,4%	COT= 13%
Ni= 5,8%	

Cependant, certains échantillons montrent parfois un coefficient de variation supérieur au critère établi de 15%:

- Echantillon 3-3.1: C.V. de 50% et 16,6% pour le cadmium et le plomb respectivement;
- Echantillon 10-2.1: C.V. de 50% pour le cadmium et de 24% pour le carbone organique total (C.O.T.);

- Cadmium: La reproductibilité est faible puisque 5 échantillons sur 15 ont un C.V. supérieur à 15%. Le C.V. moyen des analyses de Cd est de 26%;
- C.O.T.: 3 séries de triplicata sur 13 présentent un C.V. supérieur à 15%;
- Cyanures: Compte-tenu du nombre de résultats sous la limite de détection (0.2 mg/kg et plus), il est difficile d'évaluer la précision des analyses sur les triplicata.

Quant à la limite de détection élevée des cyanures, elle s'explique par la faible quantité de sédiments analysés. En effet, afin de limiter les interférences causées par la formation de précipités et de complexes de cyanures, le laboratoire sous-contractant n'a distillé que 10 g de sédiment humide.

#### **Duplicata de Mercure**

Les résultats sont précis puisque le C.V. moyen est de 14% sur la totalité des duplicata. Cependant, 38 duplicata sur 170 présentent un coefficient de variation supérieur à 15%.

#### **Huiles et graisses totales et minérales**

Les analyses des huiles et graisses totales et minérales montrent une précision acceptable comme l'indique le coefficient de variation des triplicata (annexe D). Pour chacun des 2 paramètres, il est inférieur à 15% pour 12 des 13 triplicata d'échantillons.

La méthode analytique montre un coefficient de variation moyen des triplicata de 9,6%.

#### **T.O.X.**

Les analyses ont été effectuées selon deux méthodes, la méthode Dorhman et la méthode Paprican (annexe D). L'analyse du même échantillon par les deux méthodes donne des résultats qui varient d'environ 11% par rapport à la moyenne des deux analyses.

Aux concentrations supérieures à 40 ppm, les deux méthodes sont comparables. Avec des valeurs inférieures à 10 ppm, les deux méthodes donnent des résultats parfois très différents l'une par rapport à l'autre (supérieurs à 25%). Les deux méthodes obtiennent de bons pourcentages de récupération

(Dorhman 90% et Paprican 87%). Elles sont donc comparables au niveau du pourcentage de récupération.

#### **Analyse des sédiments de référence (exactitude)**

Lors des analyses des échantillons et des sédiments de référence, une méthode de digestion partielle fut utilisée par le laboratoire d'analyse alors que les échantillons de référence fournis par le Conseil National de Recherche du Canada avaient été certifiés après une digestion totale. Cette différence méthodologique permet d'expliquer que les résultats obtenus soient inférieurs aux valeurs certifiées.

Pour les composés suivants, les coefficients de variation indiquent des résultats précis:

As= 10%	Hg= 13%
C.O.T.= 11%	Ni= 11%
Cr= 13%	Pb= 5,5%
Cu= 5%	Zn= 6%

Pour le cadmium, les résultats démontrent des problèmes analytiques puisque 2 des 3 séries de triplicata ont des valeurs inférieures à la limite de détection (1 ppm). La troisième série de triplicata montre un coefficient de variation de 25%.

Les valeurs obtenues pour les métaux suivants sont inférieures aux valeurs de référence et les coefficients moyens obtenus sont les suivants:

As= 45%	Ni= 27%
Cd= 13%	Zn= 11%
Cr= 63%	

Les valeurs obtenues pour le mercure sont de 42% supérieures à la valeur de référence. Comme cette déviation est systématique et non aléatoire, elle est probablement causée par la procédure analytique. Cependant, ces résultats peuvent quand même être utilisés tout en tenant compte de la surestimation de ceux-ci.

Les analyses du cuivre, du plomb et des cyanures donnent des résultats exacts car ils sont très près de la valeur de référence.

On peut difficilement juger de l'exactitude des analyses C.O.T. puisque sur deux séries d'essais effectués, l'une s'avère exacte et l'autre montre des valeurs inférieures de 38% par rapport à la valeur de référence.

## **- Contrôle de qualité externe**

### **Précision**

Les résultats des 2 laboratoires montrent des coefficients de variation des méthodes analytiques inférieurs à 15% pour les métaux suivants:

As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn

L'analyse des cyanures est imprécise, le coefficient de variation étant de 26%. Cependant, ce résultat fut obtenu par l'analyse de standards d'eau de mer et non de sédiment.

### **Exactitude**

Il faut noter ici que les valeurs certifiées sont établies avec une digestion totale alors que les deux laboratoires utilisent une méthode de digestion partielle. Leurs résultats seront donc inférieurs aux valeurs certifiées.

Le tableau no 9 résume la précision des méthodes analytiques des deux laboratoires.

On remarque que le type d'échantillon influence la précision des résultats. Ces derniers sont plus exacts lorsque des sédiments de rivière sont analysés plutôt que des cendres de charbon.

Le laboratoire sous-contractant obtient des résultats exacts pour les analyses des métaux suivants pour les sédiments de rivières:

As, Cr, Hg, Pb et Zn

Toutefois la valeur reportée pour les concentrations de cyanures dans le standard d'eau de mer est supérieure de 82% à la valeur certifiée. Le laboratoire sous-contractant explique cette surestimation par le faible volume analysé. En effet, un volume d'eau de mer d'à peine 65ml par triplicata était disponible pour l'analyse alors que le volume minimal suggéré pour la méthode est de 250 ml.

Le laboratoire externe trouve des résultats exacts pour les analyses des composés suivants pour les sédiments de rivière:

As, Cu, Pb, Zn et cyanures.

Tableau 9. Données relatives à l'exactitude des analyses inorganiques

Composé	Type d'échantillon*	Valeur certifiée (ppm)	Pourcentage d'écart par rapport à la valeur certifiée	
			Laboratoire sous-contractant	Laboratoire externe
Cyanures	C	0.4 + 0,06	+82%	- 2%
Arsenic	A	66	- 14%	- 5%
	B	145 ± 15	- 23%	- 1%
Cadmium	A	10,2 ± 1,5	- 38%	- 18%
	B	1 ± 0,15	non détecté	+ 53%
Chrome	A	29600 ± 2800	+ 4%	- 19%
	B	196 ± 6	- 83%	- 79%
Cuivre	A	109 ± 19	+ 2%	- 11%
	B	118 ± 3	- 66%	- 66%
Nickel	A	45,8 ± 2,9	- 30%	- 26%
	B	127 ± 4	- 77%	- 66%
Plomb	A	714 ± 28	+ 9%	- 13%
	B	72,4 ± 0,4	- 68%	- 55%
Zinc	A	1720 ± 170	- 4%	- 13%
	B	220 ± 10	- 71%	- 61%
Mercure	A	1,1 ± 0,5	- 14%	- 18%
	B	0,16 ± 0,01	+ 38%	- 19%

\* A= Sédiments de rivières, B= cendres de charbon, C= eau de mer

## 6.4.2 Analyses organiques fines

### **Contrôle de qualité interne du laboratoire**

#### **Blancs**

Les blancs, tels que fournis par le laboratoire sous-contractant ne révélaient aucune contamination pour les quatres séries d'analyses organiques fines:

Hydrocarbures aliphatiques, HAP, BPC et pesticides organochlorés

#### **Récupération**

Les rendements de récupération du laboratoire sous-contractant ont été déterminés en contaminant des sédiments préalablement extraits avec des standards des différentes séries (HAP, BPC, OC, H. Ali). Des triplicata de 50 grammes de sédiments ont été extraits et les rendements de récupération obtenus furent:

HAP =	89% ± 15%	H. Ali. (C9-C15) =	83% ± 15%
BPC =	65% ± 9%	H. Ali. (C16-C26) =	70% ± 15%
Pesticides =	85% ± 11%	H. Ali. (C28-C36) =	89% ± 15%

Les chromatogrammes des standards utilisés sont présentés à l'annexe H.

### **Contrôle de qualité externe**

Afin de vérifier la précision et l'exactitude des analyses organiques fines du laboratoire interne, 3 échantillons de sédiments du port de Québec et 3 sédiments de référence contenant une série donnée de paramètres ont été analysés en triplicata simultanément par un laboratoire externe et par le laboratoire sous-contractant. Deux des trois sédiments de référence ont été transmis sous forme d'extraits liquides de sédiments.

Les deux laboratoires utilisaient la même méthode de base avec quelques différences mineures dans la purification des échantillons. Ces différences expliquent l'écart observé entre les deux laboratoires pour les limites de détection. Le laboratoire sous-contractant atteint généralement des limites de détection beaucoup plus basses que le laboratoire externe.

## Hydrocarbures aliphatiques

Le laboratoire externe n'a pas détecté la présence d'hydrocarbures aliphatiques dans les 3 échantillons du port de Québec retenus pour l'exercice de contrôle de qualité. La limite de détection de la méthode pour ces analyses au laboratoire externe a été établie à 3 ug/g.

Cependant, le laboratoire sous-contractant a détecté des hydrocarbures aliphatiques dans les 3 échantillons fournis. Les valeurs pour les hydrocarbures aliphatiques individuels se situent en grande majorité à une valeur inférieure à 3 ppm. Cela explique pourquoi le laboratoire externe n'a pu les détecter. La limite de détection pour la méthode utilisée par le laboratoire sous-contractant se situait à 0,001 ppm.

La précision des analyses organiques fines effectuées au laboratoire sous-contractant peut être évaluée. Les pourcentages de variation observés sont:

station 2.1.1 = 26% (2 analyses)  
station 3.1.2 = 23% (3 analyses)  
station 50.1.1 = 43% (2 analyses)

Selon le critère établi de 25%, ces analyses sont considérées imprécises. Cependant ce critère nous apparaît trop sévère compte tenu qu'une variation de l'ordre de 40% est considérée adéquate pour ce type d'analyse.

### HAP

Les 2 laboratoires ont détecté la présence de HAP dans les 3 échantillons de sédiments sélectionnés. Les résultats moyens pour chaque station sont:

station 2.1.1	labo ext. = 4,10 ppm (% var. = 42,6%) labo sous-contractant = 4,75 ppm (% var. = 43,8%)
station 3.1.2	labo ext. = 3,18 ppm (% var. = 37,9%) labo sous-contractant = 2,68 ppm (% var. = 3,2%)
station 50.1.1	labo ext. = 1,24 ppm (% var. = 8,6%) labo sous-contractant = 0,85 ppm (% var. = 46,2%)

Les 2 laboratoires montrent des résultats imprécis selon le critère établi dans 2 séries d'analyses sur 3. Cependant comme dans le cas des hydrocarbures haliphatiques, nous considérons qu'une variation de l'ordre de 40% est acceptable.

Les 2 laboratoires ont analysé en triplicata les extraits d'un sédiment de référence (WP-286) afin d'en quantifier la teneur en HAP. Les résultats obtenus sont:

Laboratoire externe = 47,39 ug/l (variation moyenne = 4,3%)  
Lab. sous-contractant = 35,53 ug/l (variation moyenne = 2,9%)

Valeur certifiée = 40 ug/l (coeff. variation moyenne = 26,4%)

Les 2 laboratoires obtiennent des résultats précis puisque les pourcentages de variation sont largement inférieurs à 15%. De plus, les valeurs fournies par les 2 laboratoires sont exactes. En effet, les écarts de + 18,5% du laboratoire externe et de -11,2% du laboratoire sous-contractant respectent tous deux la limite de 25% comme critère d'exactitude.

#### **Pesticides et BPC**

Le laboratoire externe n'a pas détecté la présence de pesticides et de BPC dans les trois échantillons fournis. En effet, les teneurs de ces paramètres dans les 3 échantillons de sédiments du port sont faibles comme le démontrent les résultats obtenus par le laboratoire sous-contractant. Les limites de détection de la méthode utilisée par le laboratoire externe se situent à 0,2 ppm pour les BPC et à 0,005 ppm pour tous les pesticides sauf le toxaphène avec 2 ppm et le methoxychlore avec 0,10 ppm.

Bien que sa limite de détection soit inférieure à celle du laboratoire externe le laboratoire sous-contractant n'a détecté la présence que d'un seul pesticide, le 4,4'-DDD à une teneur d'environ 0,005 ppm dans les sédiments des 3 échantillons du port de Québec sélectionnés pour le contrôle de qualité. Les BPC ont été détectés mais à des teneurs d'environ 0,2 ppm à la station 2.1.1, 0,4 ppm à la station 3.1.2 et 0,01 ppm à la station 50.1.1. La limite de détection du laboratoire sous-contractant pour les BPC est de 0,005 ppm et varie entre 0,00002 et 0,00007 ppm selon le pesticide analysé.

La précision des analyses de pesticides est difficilement appréciable puisque les résultats montrent des valeurs inférieures à la limite de détection dans la grande majorité des cas. En ce qui concerne le sédiment de référence analysé pour les pesticides totaux (WP-385), les résultats moyens sur les triplicata sont:

Lab. externe = 2553 pg/ul (% var. = 0,07)

Lab. sous-contractant = 1757 pg/ul (% var. = 6,98)

Valeur certifiée = 2800 pg/ul (coeff. var. moyen = 32.5%)

Les 2 laboratoires obtiennent des résultats précis selon le critère établi.

Le laboratoire externe obtient des résultats considérés exacts par rapport à la valeur certifiée. Le laboratoire sous-contractant trouve des résultats inférieurs de 37% par rapport à la valeur certifiée. Selon le critère d'exactitude établi à 25%, ces résultats seraient inexacts. Cependant, comme la valeur de référence possède un coefficient de variation moyen de 32,5%, les résultats obtenus par le laboratoire sous-contractant peuvent être considérés comme exacts.

Les analyses de BPC sur le sédiment de référence (sédiment EPA no 3) donnent les résultats moyens suivants sur les triplicata:

Lab. externe = 17,50 ppm (% var. = 1,64)

Lab. sous-contractant = 12,36 ppm (% var. = 0,96)

Valeur certifiée = 15,0 ppm

Les 2 laboratoires obtiennent des résultats précis selon le critère établi.

De plus, selon la valeur certifiée, les 2 laboratoires ont obtenu des résultats exacts. Ils diffèrent tous les deux de la valeur certifiée par moins de 25%.

#### 6.4.3 Synthèse de la qualité des analyses

Les contrôles de qualité démontrent que les analyses inorganiques et organiques globales donnent des résultats précis et exacts pour la majorité des paramètres considérés. Cependant, les teneurs de mercure sont surestimées d'environ 40%. Les analyses de cadmium présentent des résultats exacts mais d'une précision de l'ordre de 25%. Enfin, les analyses de cyanures donnent des résultats exacts mais d'une précision de 26%.

De plus, les analyses organiques fines fournissent des résultats précis et exacts pour les HAP, les BPC et les pesticides organochlorés. Les analyses d'hydrocarbures aliphatiques sont considérées précises. Cependant, leur exactitude ne peut être évaluée vu l'absence de matériel de référence.

Ainsi, lors de l'interprétation des résultats, la précision des analyses de cadmium et de cyanures a été prise en considération. De même, les résultats des analyses de mercure ont été interprétés suivant leur surestimation.

## 7. MORPHO-SEDIMENTOLOGIE

### 7.1. MORPHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DU FOND

La couverture de la zone à l'étude par des relevés géophysiques (sondeur acoustique et sismique réflexion) a permis de mettre en relief les caractéristiques suivantes quant à la morphologie et à la stratigraphie de fonds:

#### **Faible épaisseur des sédiments meubles actuels**

Dans la plupart des zones peu profondes à l'exception des zones 1,2 et 8 le roc et/ou le till susjacent est généralement situé à une profondeur inférieure à 5 mètres sous l'interface eau-sédiment. Le roc affleure notamment aux endroits suivants:

- en face du quai 98 (figure 3);
- sur le rebord de la plate-forme entre la ligne 37 et la ligne 35 à une profondeur d'environ 8 mètres (figure 4);
- à la limite de la plate-forme ( $\pm$  10m) au large de la ligne 44 (figure 5);
- sur la zone littorale entre le quai de Lévis et le chantier MIL Davie et à l'est du chantier.

Cette constatation nous a permis de relocaliser certaines stations d'échantillonnage. La présence de roc à nu indique de plus des conditions hydrodynamiques très intenses, engendrés par des courants forts et/ou une forte agitation par les vagues qui enraye toute possibilité de sédimentation et par conséquent de contamination.

#### **Présence de rides sableuses (figure 3)**

La zone située entre le Bassin Brown et le quai des traversiers (#91) jusqu'à environ 500 mètres au large est caractérisée par des rides de sable très dynamiques. La présence de ces rides est liée à de forts courants de marée agissant très près de la rive à un endroit où la plate-forme est pratiquement inexistante.

Le matériel sableux constituant ces dunes est très mobile et peut se déplacer de plusieurs centaines de mètres pendant quelques mois. Ce type de matériel est habituellement caractérisé par de faibles teneurs en contaminants à cause de sa faible capacité d'adsorption.

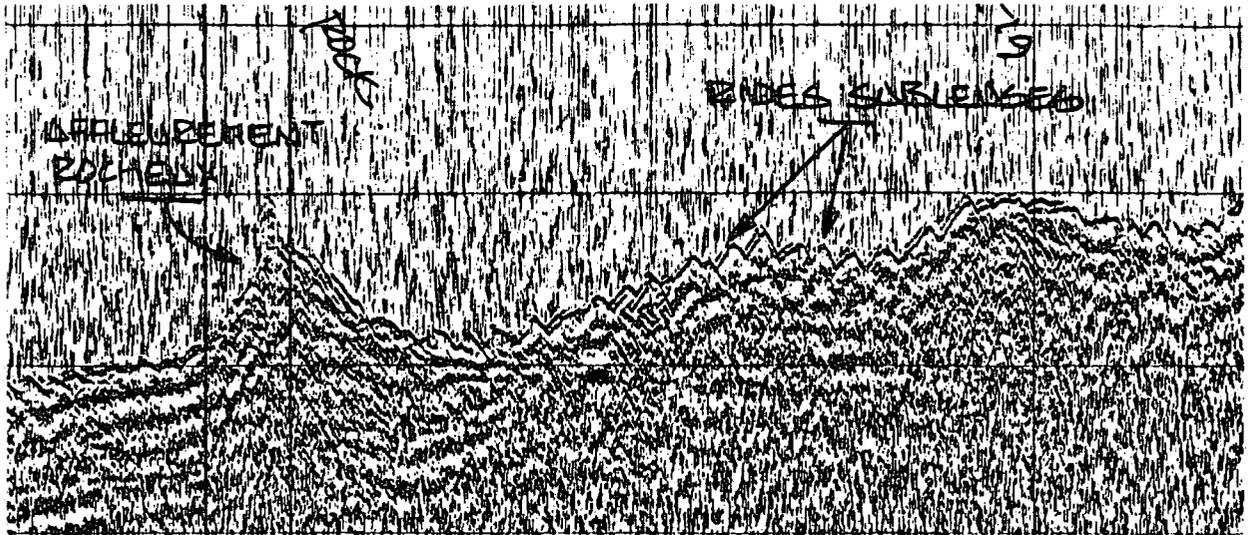


Figure 3 Echogramme montrant des rides sableuses et un affleurement rocheux (L17 à L20).

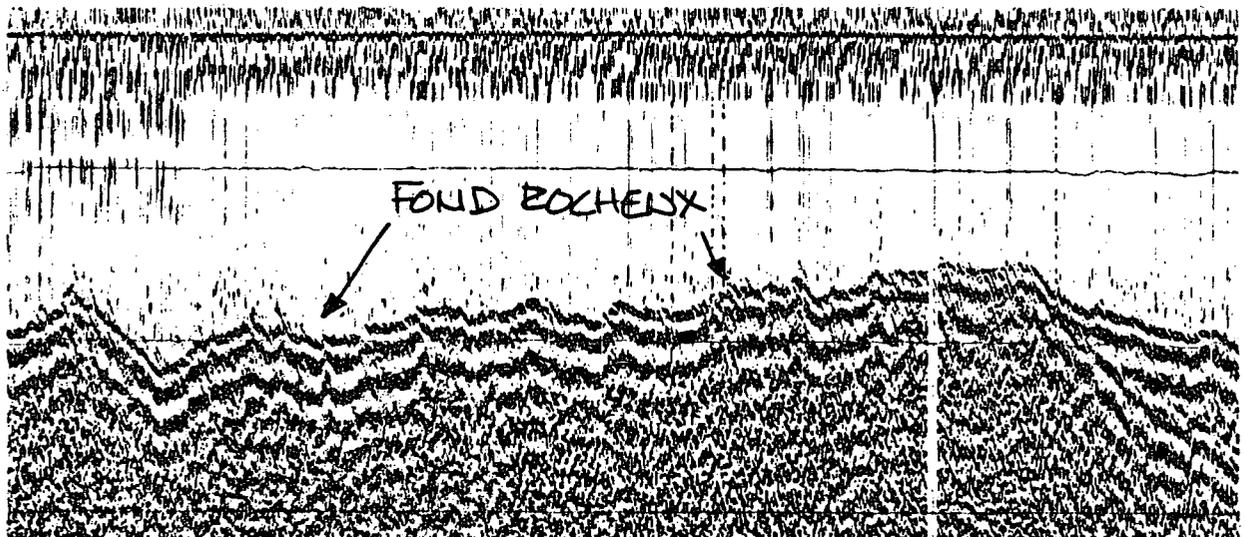


Figure 4 Echogramme montrant un fond rocheux (L35 à L37).

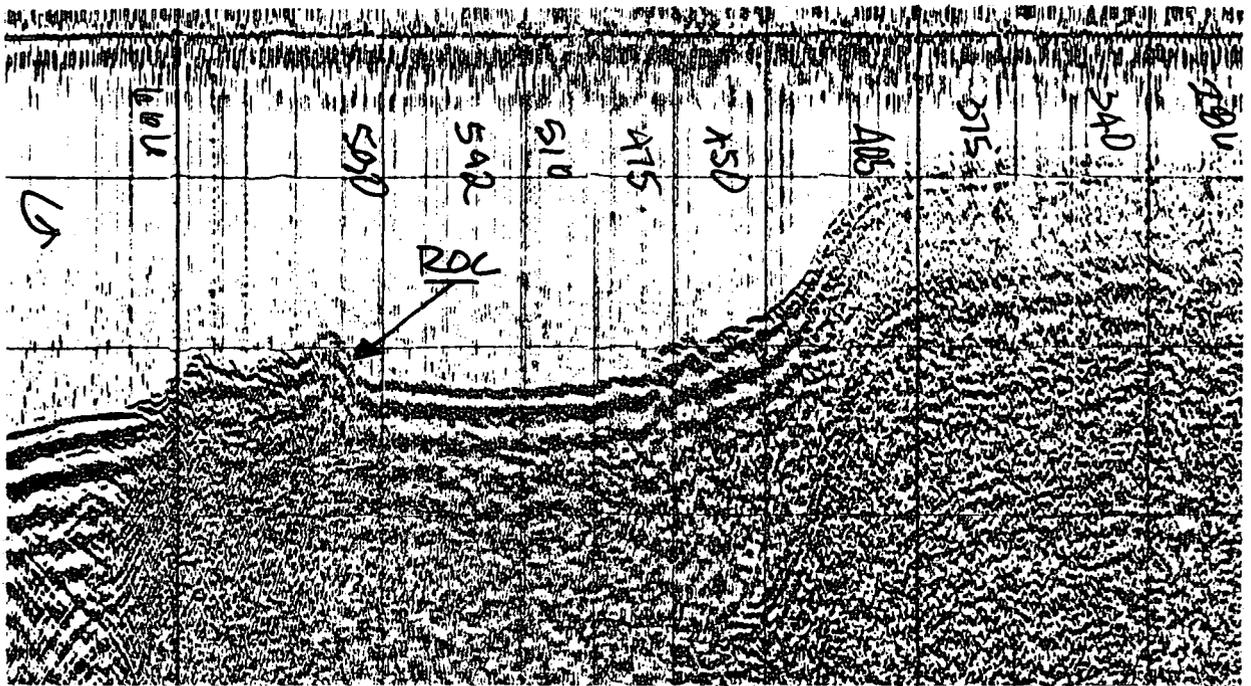


Figure 5 Echogramme montrant un affleurement rocheux (L44).

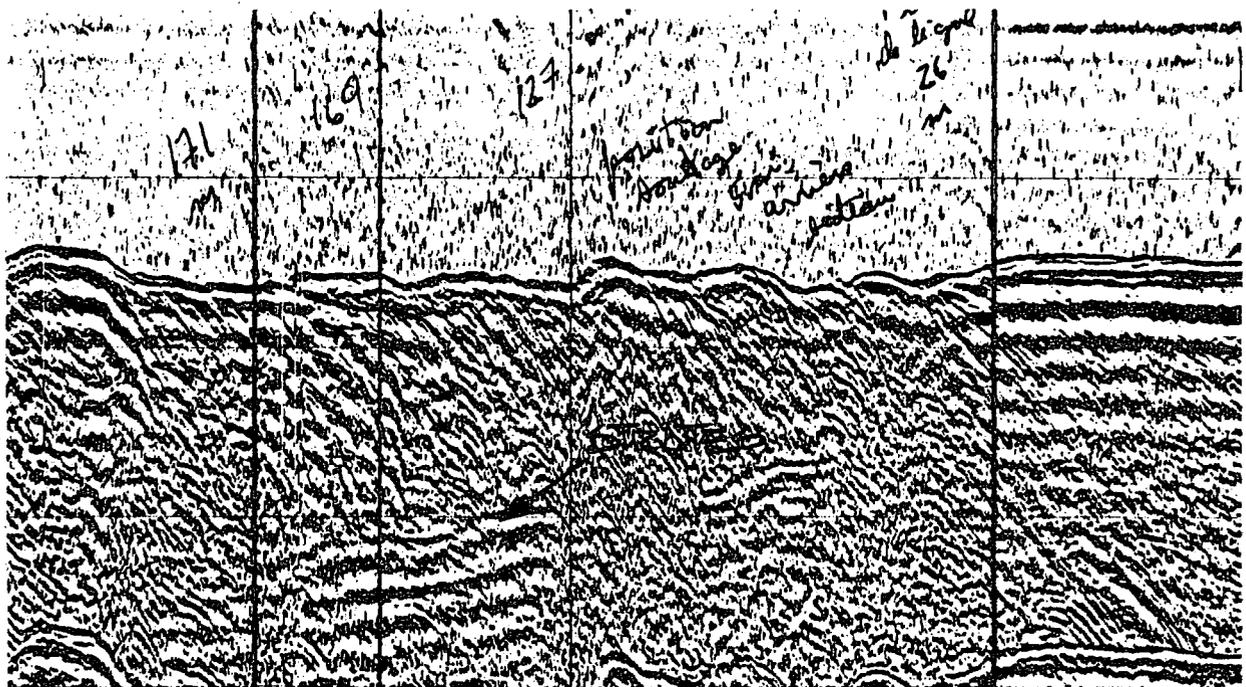


Figure 6 Echogramme montrant des stratifications parallèles de pendage nord (L11).

## Stratifications deltaïques de l'estuaire de la rivière Saint-Charles

Des stratifications parallèles de pendage nord dans le bassin Louise (figure 6) et de pendage sud près des quais 25 et 26 (figure 7) semblent être d'origine deltaïque. Ces structures sont visibles à des profondeurs variant de la surface du sédiment jusqu'à environ 10 mètres. Ils pourraient représenter les pentes sud et nord bordant l'ancien chenal sud du delta de la rivière Saint-Charles. Ce bras deltaïque fut fermé définitivement lors de la construction du bassin Louise.

De façon générale les résultats des relevés géophysiques ont apporté peu d'informations valables sur la stratigraphie superficielle des sédiments c'est-à-dire dans les premiers deux mètres. Dans les zones 1 et 2 là où l'épaisseur des sédiments aurait pu permettre une bonne définition de la stratigraphie, les échogrammes ne montrent pratiquement aucune structure peu profonde suggérant l'homogénéité des sédiments superficiels.

Le remaniement intensif créé par le dragage et la turbulence engendrée par le trafic maritime ainsi que la présence d'huiles, de débris de toutes sortes et possiblement de gaz pourraient être à l'origine de la mauvaise qualité des enregistrements acoustiques.

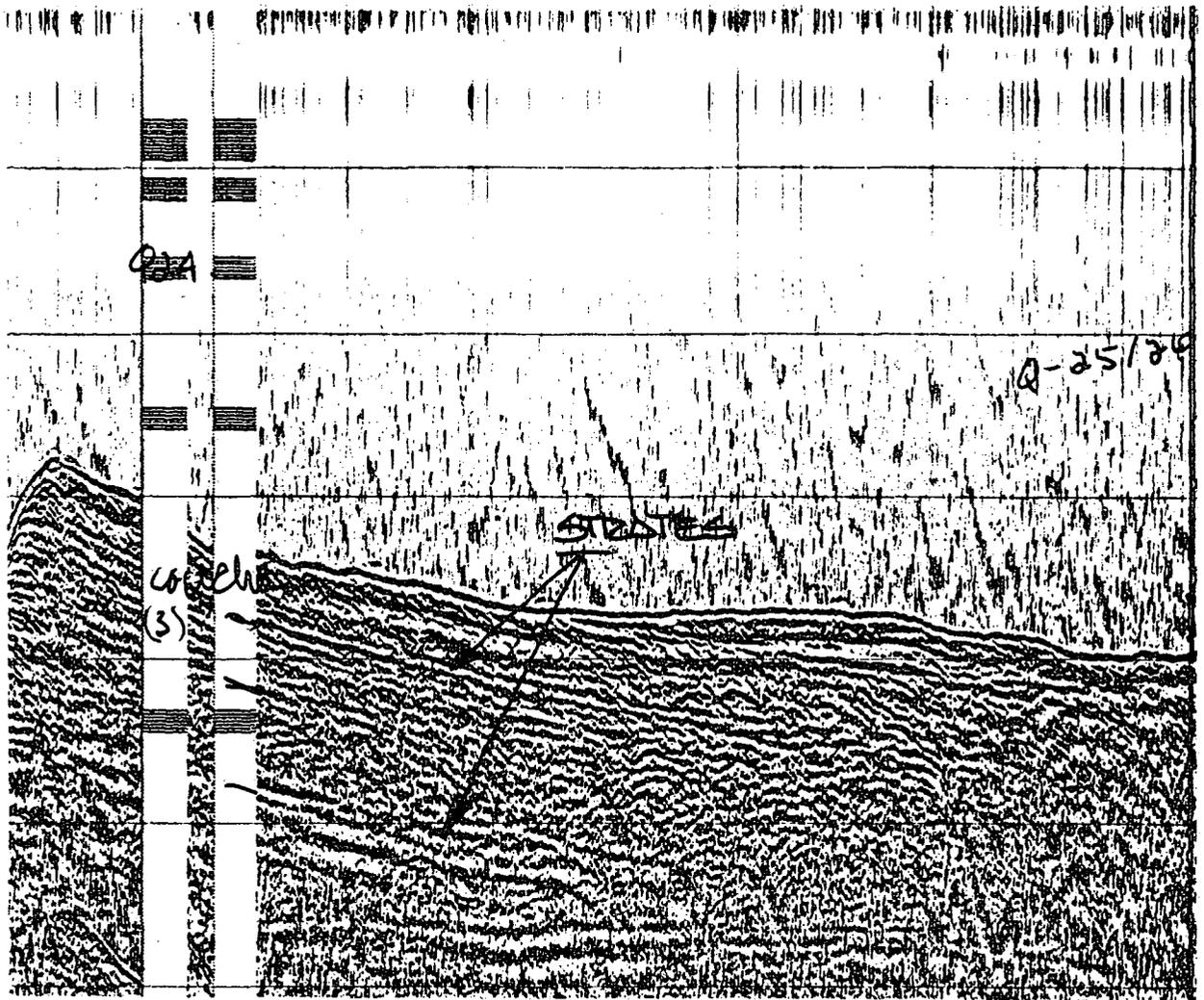


Figure 7 Echogramme montrant des stratifications parallèles de pendage sud (quais 24-25-26).

## 7.2 GRANULOMETRIE

Les sédiments du Port de Québec sont caractérisés par une grande variabilité granulométrique. Cette variabilité est principalement reliée à l'hydrodynamisme du milieu. Les zones de courant plus faible, telles les larges plates-formes intertidales et l'intérieur des bassins, favorisent la sédimentation de particules fines alors que les zones de courant fort, là où la plate-forme est pratiquement inexistante, sont constitués de matériel très grossier.

En moyenne sur l'ensemble des échantillons prélevés, le pourcentage de sable domine (53%). Les particules fines (silt et argile) forment 40% de la granulométrie des sédiments, le reste étant composé de gravier pour environ 7% (tableau no 10).

Les parties du port où se retrouvent les sédiments les plus grossiers (sable et gravier), sont, par ordre décroissant, le secteur 1 (96%), la zone 8 (90%), la zone 7 (89%) le secteur 3 (84%), la zone 6 (77%), la zone 4 (71%) et le secteur 2 (70%) (figure 8).

Les sédiments les plus fins se localisent, quant à eux, dans les zones et les secteurs protégés et/ou peu profonds. Par ordre décroissant, la zone 2 (68%), le secteur 4 (63%), la zone 5 (49%), la zone 3 (47%), la zone 1 (45%) et le secteur 5 (35%) forment les parties du port où la sédimentation est la plus fine.

Sur la rive nord, à l'exception des zones 1 et 2 qui sont bien protégés, les sédiments sont caractérisés par un pourcentage de sable et de gravier généralement supérieur à 75%. Sur la rive sud, à l'exception des secteurs 3 et de la limite de la plate-forme littorale des zones 4 et 5, le pourcentage de sable et gravier est généralement inférieur à 65%.

### 7.2.1 Description des sédiments de surface

La zone 2 et la zone 1 dans leur partie centrale sont caractérisés par des boues sableuses riches en matière organique. Ces boues sont relativement molles et leur contenu en eau se situe autour de 45%. Les résultats des analyses granulométriques des échantillons sont présentés au tableau no 11. La description macroscopique des échantillons est reportée à l'annexe C.

Tableau 10

Statistiques de base sur la granulométrie des sédiments  
par secteur et par zone

Zone et secteur	% Gravier	% Sable	% Silt et argile	% Humidité
	moyenne (écart type)	moyenne (écart type)	moyenne (écart type)	moyenne (écart type)
Zone 1	9 (13)	46 (26)	45 (31)	45 (16)
Zone 2	3 (5)	29 (12)	68 (13)	47 (9)
Zone 3	2 (6)	51 (31)	47 (32)	35 (13)
Zone 4	18 (10)	53 (11)	29 (16)	29 (29)
Zone 5	11 (15)	40 (19)	49 (24)	36 (28)
Zone 6	3 (5)	74 (29)	23 (30)	24 (5)
Zone 7	33 (20)	56 (20)	11 (2)	17 (5)
Zone 8	8 (9)	82 (12)	10 (12)	21 (7)
Secteur 1	10 (24)	86 (28)	4 (5)	21 (5)
Secteur 2	9 (11)	61 (28)	30 (31)	26 (13)
Secteur 3	3	81	1621	
Secteur 4	2 (2)	35 (19)	63 (19)	28 (9)
Secteur 5	5 (6)	60 (22)	35 (20)	26 (7)
Port de Québec	7 (12)	53 (28)	40 (30)	33 (16)

\* = 1 échantillon seulement

CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no. 8

Granulométrie des sédiments.

Pourcentage de gravier — Pourcentage de silt et argile  
 — Pourcentage de sable

⊗ Aucune donnée

○ surface

○ surface  
 ○ profondeur

○ surface  
 ○ mi-profondeur  
 ○ profondeur

Note: Lors d'échantillonnage en profondeur, l'échantillon de surface est représenté par le cercle plein.

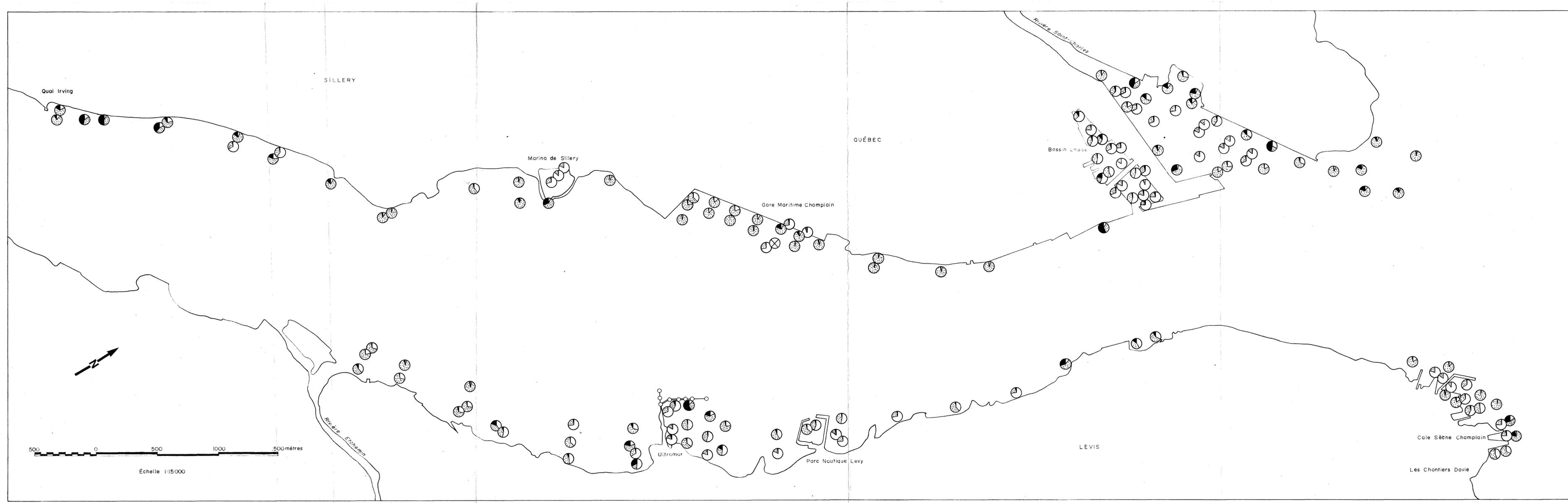


Tableau 11. Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm
ZONE 1																									
1-1.1	4.15	33.68	62.17	63.76	37.32	0.74	3	5	57	116	30	111	908	0.3	6.8	1500	1115	60.4	164.0	1.52	3.54				
1-1.2	2.20	29.69	68.16	54.55	37.82	0.81	1	1	48	75	26	89	856	0.3	7.5	2040	1550	46.0	206.7	1.30	2.96				
1-2.1	45.50	36.56	17.94	73.01	34.12	0.74	2	4	46	84	25	74	879	0.3	10.3	1540	835	211.0	81.1	2.05	4.09	35.4114	2.9993	0.00045	0.6160
2-1.1	2.88	79.03	18.09	38.20	64.49	0.22	1	1	22	59	10	182	402	0.1	2.3	1410	1025	271.0	445.7	1.87	2.74				
2-1.2	3.41	28.38	68.22	51.27	45.33	0.50	1	1	1	6	17	10	46	0.2	3.5	2090	1400	111.0	400.0	0.80	1.43				
2-2.1	12.35	61.33	26.32	60.74	46.03	0.34	1	3	14	104	19	10	1451	0.2	9.9	1410	570	5.0	57.6	1.27	3.01				
2-3.1	19.10	73.15	7.75	55.40	44.78	0.48	3	4	14	12	26	36	1290	0.2	8.6	1195	895	74.0	104.1	1.42	3.07	11.5777	15.7737	0.00045	0.0530
2-4.1	4.13	64.66	31.21	31.08	56.48	0.27	1	1	11	18	7	15	171	0.2	6.7	640	280	181.0	41.8	1.15	1.93				
2-6.1						0.39	1	1	131	35	8	28	96	0.3	0.4	261	141	7.0	352.5	0.47	1.16				
2-6.2					75.03	0.16	1	1	8	8	3	10	15	0.1	0.1	256	118	9.0	1787.9	0.17	0.40				
3-1.1	3.23	25.53	71.24	58.31	48.64	0.41	2	4	67	23	42	60	556	0.2	5.1	1195	895	1.0	175.5	0.81	2.13				
3-1.2					26.20	0.67	2	7	40	15	24	70	1350	0.4	11.9	1520	1390	260.0	116.8	2.47	4.77	36.4114	1.4186	0.00772	0.2380
3-2.1	0.68	25.38	73.94	59.10	30.15	0.35	2	3	60	20	43	46	372	0.3	6.1	3170	1255	4.0	205.7	0.84	2.02				
3-3.1	10.34	76.13	13.49	25.96	63.26	0.20	2	2	27	3	33	30	372	0.1	2.3	755	545	19.0	237.0	0.56	1.21				
3-4.1	21.21	72.30	6.49	54.19	73.40	0.88	22	14	6	69	15	19	4462	0.1	0.8	533	226	19.0	282.5	2.96	6.04				
3-4.2					78.10	0.38	1	2	4	11	3	18	26	0.1	0.4	184	96	7.0	240.0	0.21	0.68				
4-1.1	8.50	82.97	8.52	22.52	78.43	0.01	1	1	6	15	5	15	37	0.1	0.6	250	140	85.0	233.3	0.51	0.71				
4-2.1					53.09	0.21	3	2	74	71	39	42	297	0.2	3.0	935	725	7.0	241.7	0.69	1.61				
4-3.1	0.00	15.62	84.38	50.68	51.53	0.18	2	4	79	73	44	45	282	0.2	3.3	1355	855	80.0	259.1	1.03	2.12				
4-3.2	0.00	21.74	78.26	50.09	52.92	0.21	1	2	1	28	32	15	320	0.2	3.4	625	495	2.0	145.6	0.47	1.17				
4-4.1	4.43	34.63	60.94	50.18	49.45	0.30	7	14	43	1385	1813	106	2741	0.2	4.8	2345	1335	24.0	278.1	6.77	14.10				
5-1.1	32.92	60.41	6.67	16.59	80.64	0.01	1	1	9	20	3	19	33	0.1	0.8	175	125	12.0	156.3	0.21	0.42				
5-2.1	0.30	14.77	84.93	55.96	49.82	0.18	1	5	7	54	24	35	792	0.2	6.4	3330	1725	20.0	269.5	1.01	2.31	8.3730	1.1475	0.00049	0.0280
5-2.2					48.92	0.35	3	7	73	78	33	84	1289	0.2	4.8	2310	1795	30.0	374.0	1.47	3.29				
5-3.1	0.13	18.54	81.33	58.48	45.40	0.15	2	4	73	69	41	47	251	0.2	3.6	1990	945	31.0	262.5	0.83	1.88				
5-3.2	0.08	16.93	82.99	48.21	50.65	0.17	2	3	76	50	43	46	258	0.2	3.3	1260	865	134.0	262.1	1.20	2.15				
5-4.1	12.44	58.03	29.53	36.44	61.06	0.16	10	9	41	559	67	115	1620	0.2	3.5	680	520	353.0	148.6	3.72	6.55	5.0065	0.2844	0.00037	0.0513
5-4.2					68.56	0.50	26	24	37	2724	17	160	5237	0.1	2.5	890	835	9.0	334.0	7.37	16.68				
6-1.1	2.23	82.04	15.72	25.04	76.32	0.03	2	1	13	20	8	22	123	0.1	1.4	1870	1350	10.0	964.3	0.37	0.65				
6-2.1	6.51	70.69	22.80	22.97	64.45	0.15	3	1	33	29	23	31	156	0.1	1.6	580	530	13.0	331.3	0.43	0.90				
6-3.1	0.05	15.40	84.55	52.28	44.55	0.20	5	1	72	51	42	40	214	0.2	4.1	1115	900	28.0	219.5	0.75	1.58				
6-3.2	0.20	25.31	74.50	50.27	54.60	0.16	5	2	70	66	37	35	240	0.2	3.1	860	720	24.0	232.3	0.73	1.59				
6-3.3					52.68	0.16	2	2	53	66	40	34	269	0.2	2.9	1100	780	40.0	269.0	0.77	1.59				
6-4.1	46.12	25.48	28.39	25.36	79.13	0.07	5	4	20	210	22	120	570	0.1	2.3	1680	1305	42.0	567.4	1.23	2.49	8.6641	1.7114	0.00037	0.0377
14-1.1	0.47	93.97	5.55	23.01		0.13	1	1	71	42	5	73	200	0.7	0.3							1.4738	1.1411	0.00045	0.3570
N	27.00	27.00	27.00	27.00	33.00	35.00	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	34	7	7	7	7
MOY	9.0	46.0	45.0	45.0	55.3	0.3	3.6	4.0	40.2	179.1	76.3	54.0	805	0.21	3.95	1266	832	65.6	307.3	1.45	3.03	15.27	3.50	0.00147	0.20
MIN	0.0	14.8	5.6	16.6	26.2	0.0	0.7	0.7	0.7	3.3	3.3	9.9	15	0.13	0.07	175	96	1.0	41.8	0.17	0.40	1.47	0.28	0.00037	0.03
MAX	46.1	94.0	84.9	73.0	80.6	0.9	26.0	24.0	131.0	2724.0	1813.0	182.0	5237	0.70	11.90	3330	1795	353.0	1787.9	7.37	16.68	36.41	15.77	0.00772	0.62
ECART	13.2	26.0	30.8	15.6	14.9	0.2	5.5	4.8	31.0	504.8	302.6	43.3	1173	0.11	3.04	798	480	88.9	309.7	1.63	3.47	14.45	5.48	0.00276	0.22
VAR	173.9	677.0	949.2	242.4	223.0	0.1	30.4	23.4	960.7	254794.0	91559.0	1877.1	1375411	0.01	9.23	637469	230366	7907.3	95890.2	2.64	12.05	208.86	29.98	0.00001	0.05

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm	
ZONE 2																										
7-1.1	4.77	27.83	67.40	43.28	48.63	0.72	13	4	53	127	32	399	789	0.2	4.0	1385	1135	14.0	283.8	1.73	3.85					
8-1.1	0.68	25.38	73.94	59.10	55.22	0.47	8	2	47	93	29	168	435	0.2	3.5	855	675	28.0	192.9	1.10	2.41					
8-2.1	3.04	41.88	55.08	37.41	53.76	0.43	8	1	1	59	45	452	452	0.2	2.9	1025	825	9.0	284.5	1.34	2.73	8.4556	49.1577	0.00037	0.087	
8-2.2	13.90	33.04	53.06	31.11	54.90	0.54	9	2	19	58	26	201	240	0.1	3.9	1210	1080	438.0	276.9	2.71	3.95					
9-1.1	7.59	20.03	72.39	49.60	53.26	0.42	7	3	60	94	32	129	353	0.3	3.3	1480	1185	89.0	359.1	1.33	2.62	11.1384	6.0910	0.00037	0.360	
9-1.2	0.21	24.50	75.29	48.23	66.14	0.44	6	3	67	86	31	124	503	0.1	3.7	2230	2125	27.0	574.3	1.10	2.45					
9-2.1	2.74	44.88	52.39	41.59	53.30	0.41	5	3	48	70	25	124	283	0.2	4.0	1670	1390	29.0	347.5	0.94	2.17					
10-1.1	0.00	14.62	85.38	53.36	54.47	0.58	10	4	68	104	41	152	496	0.2	3.4	1895	1355	30.0	398.5	1.27	2.85					
10-2.1	2.39	53.56	44.06	37.52	59.27	0.27	6	2	53	116	32	71	322	0.2	2.8	1735	950	44.0	339.3	1.01	2.03					
10-2.2	19.32	21.01	59.67	34.75	54.53	0.66	1	5	75	140	32	284	962	0.2	4.2	2535	2115	21.0	503.6	1.61	3.72	8.4933	3.7011	0.00037	0.112	
11-1.1	0.33	20.48	79.19	57.10	69.15	0.18	6	1	60	47	31	48	226	0.1	2.7	1705	870	14.0	322.2	0.67	1.36					
11-1.2	0.56	30.55	68.89	45.41	52.15	0.22	4	2	61	38	28	75	186	0.2	2.9	760	460	344.0	158.6	2.02	2.86	4.0358	3.5548	0.00033	0.081	
11-2.1	1.46	42.62	55.95	42.79	60.74	0.29	4	1	35	56	17	88	162	0.2	2.8	855	630	67.0	225.0	0.85	1.61					
11-2.2	3.73	32.74	63.53	45.13	47.73	0.50	7	3	70	103	96	95	507	0.2	3.2	2600	2035	4.0	635.9	1.14	2.57					
12-1.1	1.12	43.73	55.14	49.75	52.78	0.22	5	1	54	38	28	62	188	0.2	2.7	1310	790	19.0	292.6	0.66	1.35					
12-1.2					54.46	0.28	5	1	60	57	33	55	287	0.2	4.3	970	655	13.0	152.3	0.73	1.64					
12-2.1	0.35	19.08	80.58	54.45	45.67	0.34	6	1	70	58	35	62	259	0.2	3.4	1710	1035	37.0	304.4	0.87	1.78					
12-2.2					61.84	0.60	6	1	57	50	28	84	374	0.1	5.5	1830	1480	75.0	269.1	1.12	2.35	20.7925	2.3200	0.00045	0.032	
12-2.3	4.42	19.61	75.96	43.12	62.63	0.64	6	1	47	37	24	71	188	0.1	0.2	1205	985	70.0	5794.1	0.85	1.63					
12-3.1	0.00	6.75	93.25	56.83	46.11	0.31	5	1	68	64	32	63	255	0.2	1.0	1170	800	0.7	800.0	0.65	1.38					
13-1.1	1.46	23.38	75.16	61.91	47.46	0.24	5	1	72	60	35	55	276	0.2	3.1	1640	970	2.0	312.9	0.70	1.56					
N	19.00	19.00	19.00	19.00	21.00	21.00	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	5	5	5		
MOY	3.6	28.7	67.7	47.0	55.0	0.4	6.3	1.9	54.5	74.0	33.9	136.3	368.7	0.19	3.21	1513	1121	65.5	610.8	1.16	2.33	10.58	12.96	0.00037	0.134	
MIN	0.0	6.8	44.1	31.1	45.7	0.2	1.0	0.7	0.7	37.0	17.0	48.0	162.0	0.13	0.17	760	460	0.7	152.3	0.65	1.35	4.04	2.32	0.00033	0.032	
MAX	19.3	53.6	93.3	61.9	69.2	0.7	13.0	5.0	75.0	140.0	96.0	452.0	962.0	0.30	5.50	2600	2125	438.0	5794.1	2.71	3.95	20.79	49.16	0.00045	0.360	
ECART	5.1	12.1	13.0	8.6	6.4	0.2	2.5	1.4	18.1	30.4	15.4	112.4	202.7	0.04	1.11	524	481	112.1	1198.2	0.51	0.81	6.25	20.28	0.00004	0.129	
VAR	25.9	145.9	169.5	74.7	40.9	0.0	6.0	1.9	328.3	925.1	236.1	12638.8	41086.3	0.00	1.24	274061	231432	12557.8	1435725.9	0.26	0.65	39.08	411.21	0.00000	0.016	
SECTEUR 1																										
16-1.1	53.70	37.26	9.03	12.24	87.90	0.22	2	1	24	23	6	150	65	0.1	3.3	275	167	2.7	50.6	0.48	1.19					
18-1.1	0.00	98.93	1.07	23.55	76.95	0.01	1	1	4	3	5	15	43	0.1	3.4	150	35	0.7	10.3	0.19	0.52					
19-1.1	0.03	99.30	0.67	22.55	77.65	0.07	2	1	2	3	5	10	37	0.1	0.7	705	595	0.7	850.0	0.17	0.35					
20-1.1	0.24	97.95	11.81	22.02	79.45	0.03	1	1	5	3	6	10	39	0.1	0.8	180	85	11.9	106.3	0.19	0.35					
20-2.1	0.00	99.15	0.85	22.18	77.39	0.10	2	1	1	3	5	10	31	0.4	1.1	235	155	5.9	140.9	0.27	0.49					
N	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
MOY	10.8	86.5	4.7	20.5	79.9	0.1	1.6	0.7	7.2	7.2	5.4	38.9	43.0	0.19	1.86	309	207	4.4	231.6	0.26	0.58					
MIN	0.0	37.3	0.7	12.2	77.0	0.0	1.0	0.7	1.0	3.3	5.0	9.9	31.0	0.13	0.70	150	35	0.7	10.3	0.17	0.35					
MAX	53.7	99.3	11.8	23.6	87.9	0.2	2.0	0.7	24.0	23.0	6.0	150.0	65.0	0.40	3.40	705	595	11.9	850.0	0.48	1.19					
ECART	24.0	27.5	5.3	4.7	4.6	0.1	0.5	0.0	9.5	8.8	0.5	62.1	13.0	0.12	1.37	227	223	4.7	349.3	0.13	0.35					
VAR	575.3	758.5	28.4	21.7	21.1	0.0	0.3	0.0	90.7	77.6	0.3	3859.4	170.0	0.01	1.87	51343	49829	22.3	122022.8	0.02	0.12					

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm
ZONE 6																									
21-1.1	5.61	91.36	3.03	22.29	80.38	0.04	1	1	5	3	8	66	45	0.1	1.0	330	160	6.0	160.0	0.26	0.52				
22-1.1	10.20	84.26	5.55	21.91	78.57	0.03	1	1	6	9	7	17	40	0.5	1.4	185	130	0.7	92.9	0.29	0.52				
22-1.2	0.08	3.98	96.03	20.97	74.52	0.10	4	1	22	34	27	23	78	0.1	1.5	400	290	1.3	193.3	0.34	0.74				
22-1.3					73.61	0.03	6	1	23	30	28	10	75	0.9	1.4	275	200	9.0	142.9	0.62	0.95				
22-2.1	0.00	99.57	0.43	22.28	78.73	0.02	1	1	2	10	4	10	29	0.3	0.4	280	150	10.0	375.0	0.23	0.36				
23-1.1	18.21	73.28	8.51	19.80	80.48	0.04	1	1	2	9	6	20	47	0.1	0.9	460	195	6.0	216.7	0.20	0.40				
23-1.2	1.84	26.07	72.09	17.80	83.64	0.03	4	1	18	32	22	17	74	0.1	1.0	465	340	1.3	340.0	0.31	0.63				
23-2.1					79.16	0.03	1	1	3	10	5	10	35	0.1	0.9	185	94	6.0	104.4	0.17	0.35				
23-2.2	0.93	28.06	71.01	16.68	83.77	0.03	5	1	21	22	21	10	55	0.1	0.9	420	355	18.0	394.4	0.35	0.61	9.2780	0.2264	0.00045	0.003
24-1.1	0.06	92.56	7.36	24.88	77.32	0.16	1	1	2	5	4	10	35	0.1	0.9	380	150	6.0	166.7	0.18	0.42				
24-2.1	0.23	97.94	1.83	21.38	77.33	0.03	2	1	1	3	4	10	31	0.1	0.9	160	80	2.6	88.9	0.15	0.31				
25-1.1	0.75	82.03	17.21	23.93	74.22	0.09	2	1	11	5	9	44	157	0.1	1.1	350	240	2.2	218.2	0.29	0.61				
25-2.1	0.14	98.24	1.62	23.16	76.59	0.03	2	1	3	6	4	10	38	0.1	1.0	220	95	13.0	95.0	0.21	0.39				
26-1.1	0.22	88.19	11.59	26.40	72.96	0.04	1	1	10	8	6	15	53	0.1	1.3	230	60	26.0	46.2	0.28	0.52	3.6845	0.3862	0.00036	0.091
26-2.1	3.70	87.09	9.21	33.49	70.77	0.07	2	1	5	7	7	10	49	0.1	1.6	770	320	13.0	200.0	0.26	0.51				
27-1.1	1.00	60.40	38.60	38.19	63.01	0.07	3	1	32	24	19	23	109	0.1	2.1	900	430	5.2	204.8	0.37	0.78				
27-1.2	2.54	76.03	21.43	26.00	73.05	0.13	3	1	23	22	12	21	167	0.1	1.6	370	240	0.7	150.0	0.33	0.73				
27-2.1	3.30	93.24	3.46	21.91	78.93	0.02	1	1	1	5	4	10	25	0.1	0.7	490	220	0.7	314.3	0.14	0.28				
N	16.00	16.00	16.00	16.00	18.00	18.00	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	2	2	2	
MOY	3.1	73.9	23.1	23.8	76.5	0.1	2.3	0.7	10.6	13.6	10.9	18.6	63.4	0.20	1.14	382	208	7.1	194.6	0.28	0.53	6.48	0.31	0.00040	0.047
MIN	0.0	4.0	0.4	16.7	63.0	0.0	0.7	0.7	1.0	3.3	4.0	9.9	25.0	0.13	0.40	160	60	0.7	46.2	0.14	0.28	3.68	0.23	0.00036	0.003
MAX	18.2	99.6	96.0	38.2	83.8	0.2	6.0	1.0	32.0	34.0	28.0	66.0	167.0	0.90	2.10	900	430	26.0	394.4	0.62	0.95	9.28	0.39	0.00045	0.091
ECART	4.9	29.3	30.1	5.4	4.9	0.0	1.6	0.1	9.9	10.6	8.4	14.6	41.7	0.20	0.40	195	105	6.9	102.1	0.11	0.18	3.96	0.11	0.00006	0.062
VAR	23.7	858.2	906.8	29.5	24.4	0.0	2.5	0.0	97.9	112.2	71.0	214.0	1737.7	0.04	0.16	38074	11128	47.1	10434.1	0.01	0.03	15.64	0.01	0.00000	0.003
SECTEUR 2																									
29-1.1	0.44	93.69	5.87	20.67	78.34	0.01	2	1	3	7	4	10	21	0.1	0.8	105	55	2.0	68.8	0.15	0.30				
30-1.1	2.60	24.87	72.53	54.89	38.49	0.18	7	1	73	55	36	43	190	0.3	0.3	1160	550	20.1	1833.3	0.69	1.26				
30-1.2	0.00	13.43	86.57	49.33	54.56	0.32	5	2	68	59	37	50	251	0.2	2.4	1600	1260	21.0	525.0	0.77	1.67	7.3518	1.6435	0.00537	0.070
30-1.3	0.00	15.85	84.15	46.88	52.23	0.64	6	19	84	66	40	30	349	0.2	2.1	1755	1455	14.8	692.9	1.01	3.38				
30-2.1	30.12	66.09	3.79	15.95	81.95	0.01	1	1	7	7	8	10	18	0.1	0.3	140	70	7.0	233.3	0.16	0.31				
31-1.1	0.08	96.00	3.92	21.94	78.83	0.15	1	1	6	3	10	10	33	0.1	0.3	190	70	39.0	233.3	0.31	0.51	1.0778	0.1403	0.00147	0.005
31-2.1	8.05	86.14	5.81	22.18	78.10	0.02	1	1	10	6	10	10	49	0.1	0.3	280	130	4.1	433.3	0.17	0.31				
32-1.1	2.69	56.54	40.77	21.55	73.02	0.11	1	1	33	28	21	10	143	0.1	1.0	410	260	11.1	260.0	0.34	0.73				
33-1.1	1.01	97.57	1.42	21.25	78.25	0.06	1	4	7	8	3	10	34	0.1	0.2	607	456		2280.0	0.20	0.63				
33-1.2	2.52	90.20	7.28	21.18	76.46	0.07	1	2	4	11	3	10	45	0.1	0.3	330	205		683.3	0.17	0.46				
34-1.1	15.93	75.90	8.18	18.98	80.27	0.03	1	1	11	7	11	10	45	0.1	0.5	590	260	10.0	520.0	0.21	0.38	3.5740	1.2062	0.00045	0.009
35-1.1	2.30	39.32	58.37	27.72	72.58	0.05	1	1	28	13	18	10	59	0.1	1.9	350	200	1.3	105.3	0.23	0.59				
35-1.2	21.93	53.95	24.12	12.34	91.53	0.01	1	3	21	15	19	10	65	0.1	0.3	90	65	1.3	216.7	0.21	0.58				
36-1.1	0.56	32.63	66.81	26.04	74.13	0.05	1	8	27	14	19	10	56	0.1	1.0	185	105	4.1	105.0	0.21	0.30				
36-2.1	13.20	80.14	6.65	23.87	80.99	0.03	1	4	9	15	9	10	49	0.8	0.3	410	230	0.7	766.7	0.43	0.84				
37-1.1	9.43	69.09	21.48	23.15	72.36	0.04	1	1	17	17	15	10	66	0.1	0.6	335	105	6.1	175.0	0.22	0.44				
37-1.2	32.88	47.82	19.31	7.80	89.77	0.03	1	16	12	24	15	10	44	0.1	0.2	85	85	2.5	425.0	0.34	1.65				
N	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	15	17	17	17	3	3	3	
MOY	8.5	61.1	30.4	25.6	73.6	0.1	1.7	3.8	24.7	20.9	16.4	15.4	89.2	0.19	0.75	507	327	9.7	562.2	0.35	0.89	4.00	1.00	0.00243	0.028
MIN	0.0	13.4	1.4	7.8	38.5	0.0	0.7	0.7	3.0	3.3	3.3	9.9	18.0	0.13	0.20	85	55	0.7	68.8	0.15	0.30	1.08	0.14	0.00045	0.005
MAX	32.9	97.6	86.6	54.9	91.5	0.6	7.0	19.0	84.0	66.0	40.0	50.0	349.0	0.80	2.40	1755	1455	39.0	2280.0	1.01	3.38	7.35	1.64	0.00537	0.070
ECART	10.8	28.4	30.9	12.8	13.5	0.2	2.1	5.5	25.7	19.8	11.6	12.7	91.8	0.16	0.71	513	413	10.5	608.1	0.25	0.78	3.16	0.77	0.00260	0.036
VAR	116.4	807.5	957.8	163.8	181.7	0.0	4.4	30.5	660.6	392.4	133.8	162.2	8436.1	0.03	0.51	262737	170582	110.0	369814.2	0.06	0.60	9.98	0.60	0.00001	0.001

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm	
ZONE 7																										
38-1.1	50.76	40.84	8.41	11.54	83.49	0.01	1	1	10	11	10	10	44	0.1	0.3	190	155	0.7	516.7	0.15	0.33					
39-2.1	48.88	37.90	13.23	13.94												700	350	0.7		0.19	0.16					
40-1.1	21.64	66.33	12.03	23.34	79.91	0.06	1	1	17	18	17	10	74	0.1	0.7	555	280	6.5	400.0	0.24	0.49					
40-2.1	11.05	80.13	8.82	19.11	80.99	0.05	1	1	12	13	13	10	56	0.1	0.5	275	195	6.4	390.0	0.20	0.40	3.2326	0.5743	0.00041	0.011	
N	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	1	1	1		
MOY	33.1	56.3	10.6	17.0	81.5	0.0	0.7	0.8	13.0	14.0	13.3	9.9	58.0	0.13	0.50	430	245	3.6	435.6	0.20	0.35	3.23	0.57	0.00041	0.011	
MIN	11.1	37.9	8.4	11.5	79.9	0.0	0.7	0.7	10.0	11.0	10.0	9.9	44.0	0.13	0.30	190	155	0.7	390.0	0.15	0.16					
MAX	50.8	80.1	13.2	23.3	83.5	0.1	0.7	1.0	17.0	18.0	17.0	9.9	74.0	0.13	0.70	700	350	6.5	516.7	0.24	0.49					
ECART	19.8	20.4	2.4	5.3	1.8	0.0	0.0	0.2	3.6	3.6	3.5	0.0	15.1	0.00	0.20	238	87	3.3	70.4	0.04	0.14					
VAR	392.8	415.3	5.6	27.9	3.4	0.0	0.0	0.0	13.0	13.0	12.3	0.0	228.0	0.00	0.04	56717	7617	11.2	4959.3	0.00	0.02					
SECTEUR 5																										
42-1.1	11.21	48.06	40.74	20.42	71.50	0.07	1	37	20	14	14	10	61	0.1	0.9	655	195	3.0	216.7	0.60	3.51					
42-2.1	0.11	79.37	20.52	25.37	74.49	0.10	1	3	16	14	5	10	51	0.1	0.4	375	145	0.7	362.5	0.20	0.60	1.8958	0.3998	0.00101	0.006	
42-2.2	0.84	66.30	32.86	23.87	75.01	0.06	1	2	14	17	11	16	54	0.1	0.3					0.25	0.67					
43-1.1	1.72	69.94	28.34	33.90	61.43	0.06	1	2	22	18	19	10	72	0.1	2.1	590	360	2.0	171.4	0.27	0.72					
43-2.1	1.84	96.20	1.96	22.32	79.94	0.01	1	1	6	3	8	10	26	0.1	0.3	655	195	5.1	650.0	0.16	0.28					
44-1.1					70.29	0.03	1	1	17	10	14	10	55	0.1	0.7	465	330	18.6	471.4	0.26	0.46					
44-1.2	5.01	68.00	26.99	18.79	83.12	0.15	1	1	18	9	15	10	51	0.1	1.0	350	163	28.2	163.0	0.31	0.61					
44-2.1	3.84	88.50	7.65	17.41	82.58	0.05	1	3	9	10	3	10	34	0.1	0.5	280	120	1.0	240.0	0.17	0.51					
45-1.1					68.50	0.04	1	3	22	15	17	10	66	0.1	0.9	269	144	4.5	160.0	0.24	0.66					
45-1.2					88.10	0.09	1	2	16	7	10	10	74	0.1	1.0	285	140	6.0	140.0	0.22	0.58					
45-2.1	5.39	40.15	54.47	38.34	59.79	0.09	2	3	40	31	22	10	107	0.2	1.1	725	355	0.7	322.7	0.36	0.91					
45-2.2	19.87	41.65	38.48	16.67	76.10	0.08	8	2	24	35	22	43	90	0.1	0.6					0.53	1.15					
46-1.1	7.04	42.07	50.89	28.07	66.53	0.14	1	3	36	25	27	24	117	0.1	1.6	700	20	16.0	12.5	0.42	1.03					
46-1.2					64.94	0.13	1	2	46	28	29	22	133	0.3	3.1	410	185	1.5	59.7	0.43	1.10					
46-2.1	1.48	57.88	40.64	24.71	72.71	0.07	1	1	28	29	20	20	97	0.6	0.7	495	235	0.7	335.7	0.43	0.74					
46-3.1	1.11	24.98	73.91	36.64	46.31	0.11	2	4	58	42	31	27	148	0.2	1.8	500	355	16.0	197.2	0.53	1.30	6.0336	0.6750	0.00037	0.028	
N	12.00	12.00	12.00	12.00	16.00	16.00	16	16	16	16	16	16	16	16	16	14	14	14	14	16	16	2	2	2		
MOY	5.0	60.3	34.8	25.5	71.3	0.1	1.3	4.3	24.5	19.2	16.7	15.7	77.3	0.18	1.06	482	210	7.4	250.2	0.34	0.93	3.96	0.54	0.00069	0.017	
MIN	0.1	25.0	2.0	16.7	46.3	0.0	0.7	0.7	6.0	3.3	3.3	9.9	26.0	0.13	0.30	269	20	0.7	12.5	0.16	0.28	1.90	0.40	0.00037	0.006	
MAX	19.9	96.2	73.9	38.3	88.1	0.2	8.0	37.0	58.0	42.0	31.0	43.0	148.0	0.60	3.10	725	360	28.2	650.0	0.60	3.51	6.03	0.68	0.00101	0.028	
ECART	5.7	21.6	20.0	7.3	10.3	0.0	1.8	8.8	14.0	11.2	8.3	9.4	35.1	0.12	0.75	161	104	8.7	167.5	0.14	0.74	2.93	0.19	0.00045	0.015	
VAR	32.3	465.9	398.6	54.0	106.6	0.0	3.4	77.2	195.9	124.6	68.1	89.1	1231.4	0.01	0.57	25993	10811	75.6	28068.5	0.02	0.55	8.56	0.04	0.00000	0.000	

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN-TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDITE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm	
ZONE 5																										
47-1.1	27.51	19.91	52.57	33.94	62.40	0.13	1	3	38	34	27	43	153	0.1	3.0	985	550	40.0	183.3	0.61	1.36	6.1173	2.9074	0.00037	0.029	
47-2.1	0.58	32.09	67.33	42.65	54.24	0.31	1	6	41	43	26	31	142	0.2	2.5	863	600	7.0	240.0	0.52	1.57					
47-2.2	22.48	54.99	22.54	13.06	85.28	0.06	1	1	19	8	13	10	47	0.1	0.9	385	290	26.0	322.2	0.29	0.55					
47-3.1	8.12	63.99	27.89	24.58	76.82	0.07	1	1	26	16	18	10	80	0.1	0.9	525	390	11.0	433.3	0.27	0.56					
48-1.1	3.88	19.91	76.21	46.34	47.02	0.22	2	2	69	49	40	49	196	0.2	2.4	1690	1115	4.3	464.6	0.62	1.43					
48-1.2					68.93	0.17	2	1	51	40	31	57	170	0.1	2.1	1930	1475	2.3	702.4	0.53	1.16					
48-2.1	0.72	15.72	83.56	37.71	50.23	0.23	2	2	73	58	42	51	216	0.2	1.7	1385	1030	28.0	605.9	0.72	1.53	9.7671	0.9354	0.00033	0.019	
48-2.2					62.90	0.22	2	2	66	52	39	49	201	0.1	2.0	1010	880	9.0	440.0	0.58	1.37					
48-3.1	1.57	28.19	70.24	38.39	57.36	0.15	2	1	58	37	33	23	162	0.2	1.3	1080	845	0.7	650.0	0.45	0.98					
48-3.2	2.99	37.78	59.23	22.18	72.54	0.26	1	2	60	38	33	28	184	0.1	1.4	930	690	0.7	492.9	0.45	1.15					
49-1.1	3.12	66.58	30.31	27.00	71.60	0.08	1	2	30	24	19	19	104	0.1	1.1	1560	1040	4.0	945.5	0.35	0.78					
49-2.1	3.23	45.97	50.80	25.08	56.83	0.11	1	2	55	39	32	10	146	0.2	1.1	1770	1245	2.8	1131.8	0.45	0.98	7.6403	0.7294	0.00033	0.008	
49-2.2															2.3	1750	240	1.6	104.3	0.47	1.04					
49-3.1	55.02	32.10	12.88	133.05	87.41	0.01	1	1	22	16	19	10	73	0.1	1.3	240	95	25.0	73.1	0.32	0.58	7.0743	0.8805	0.00037	0.004	
50-1.1	0.61	20.10	79.29	38.99	61.67	0.17	1	1	65	52	38	35	183	0.1	1.8	1410	900	46.0	500.0	0.68	1.30	6.1606	1.2503	0.00037	0.020	
50-2.1	0.91	42.15	56.95	32.02	61.93	0.12	1	1	46	35	27	33	136	0.1	1.4	1020	635	4.0	453.6	0.40	0.87					
50-3.1	22.22	61.84	15.84	16.97	76.08	0.04	1	1	26	17	18	10	82	0.1	0.9	300	190	0.7	211.1	0.22	0.49					
51-1.1	20.83	26.87	52.30	24.83	71.98	0.22	1	1	45	34	29	15	128	0.1	1.5	935	50	44.0	33.3	0.54	1.05	4.4342	0.8453	0.00037	0.025	
51-2.1	4.47	70.23	25.30	19.42	69.67	0.07	1	1	34	25	24	10	97	0.1	1.2	405	235	17.0	195.8	0.34	0.68					
N	16.00	16.00	16.00	16.00	18.00	18.00	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	6	6	6	6	6
MOY	11.14	39.90	48.95	36.01	66.38	0.15	1.1	1.6	45.8	34.3	28.2	27.4	138.9	0.15	1.62	1062	658	14.4	430.7	0.46	1.02	6.87	1.26	0.00035	0.017	
MIN	0.58	15.72	12.88	13.06	47.02	0.01	0.7	0.7	19.0	8.0	13.0	9.9	47.0	0.13	0.90	240	50	0.7	33.3	0.22	0.49	4.43	0.73	0.00033	0.004	
MAX	55.02	70.23	83.56	133.05	87.41	0.31	2.0	6.0	73.0	58.0	42.0	57.0	216.0	0.20	3.00	1930	1475	46.0	1131.8	0.72	1.57	9.77	2.91	0.00037	0.029	
ECART	14.98	18.57	23.52	27.59	11.22	0.08	0.6	1.3	17.3	14.2	8.6	16.8	49.3	0.03	0.61	533	417	15.6	291.0	0.14	0.35	1.79	0.83	0.00002	0.009	
VAR	224.37	344.81	553.01	761.15	126.00	0.01	0.4	1.7	297.6	200.6	73.2	282.0	2435.0	0.00	0.38	284133	173954	244.1	84698.2	0.02	0.12	3.21	0.68	0.00000	0.000	
SECTEUR 4																										
52-1.1	0.80	15.11	84.10	29.56	66.93	0.35	1	1	50	33	35	20	148	0.1	1.9	625	420	10.0	221.1	0.43	1.08	3.1699	2.2462	0.00033	0.014	
52-2.1	5.48	51.01	43.51	18.44	79.54	0.16	1	1	30	23	23	15	84	0.1	0.9	390	235	21.0	261.1	0.35	0.72					
52-2.2					79.09	0.10	1	1	41	24	25	20	78	0.1	1.2	325	145	21.0	120.8	0.37	0.78					
53-1.1	2.93	64.35	32.71	20.94	51.13	0.12	1	1	65	53	38	28	162	0.1	1.1	701	482	9.0	438.2	0.47	1.03					
53-1.2	1.12	41.14	57.75	19.44	78.68	0.30	1	1	39	31	23	24	130	0.1	0.9	1240	815	2.0	905.6	0.37	0.90	5.2076	1.2013	0.00041	0.071	
54-1.1	1.56	23.03	75.40	31.17	67.74	0.27	1	1	38	30	22	28	94	0.1	1.3	600	250	1.3	192.3	0.33	0.84					
54-1.2	0.18	13.09	86.73	28.19	74.10	0.13	1	2	42	28	25	10	81	0.1	1.4	95	70	11.0	50.0	0.33	0.84					
54-2.1	0.70	45.85	53.85	30.74	64.57	0.14	1	1	35	31	22	10	109	0.1	1.2	1090	635	6.0	529.2	0.34	0.73					
55-1.1	3.14	22.33	74.53	51.19	65.55	0.04	1	1	29	25	21	50	82	0.1	0.9	860	510	24.0	566.7	0.42	0.76					
56-1.1	0.75	56.04	43.21	25.40	68.90	0.04	1	1	27	28	18	27	94	0.1	1.2	710	30	17.0	25.0	0.36	0.72					
57-1.1	4.52	20.61	74.87	25.73	67.90	1.41	1	2	31	30	20	40	83	0.1	1.3	320	249	11.0	191.5	0.47	1.77					
N	10.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	2	2	2	2	
MOY	2.12	35.26	62.67	28.08	69.47	0.28	0.7	1.0	38.8	30.5	24.7	24.7	104.1	0.13	1.21	632	349	12.1	318.3	0.38	0.92	4.19	1.72	0.00037	0.042	
MIN	0.18	13.09	32.71	18.44	51.13	0.04	0.7	0.7	27.0	23.0	18.0	9.9	78.0	0.13	0.90	95	30	1.3	25.0	0.33	0.72	3.17	1.20	0.00033	0.014	
MAX	5.48	64.35	86.73	51.19	79.54	1.41	0.7	2.0	65.0	53.0	38.0	50.0	162.0	0.13	1.90	1240	815	24.0	905.6	0.47	1.77	5.21	2.25	0.00041	0.071	
ECART	1.81	18.56	18.96	9.33	8.30	0.39	0.0	0.5	11.0	8.1	6.2	12.2	29.5	0.00	0.29	344	245	7.7	265.9	0.05	0.31	1.44	0.74	0.00006	0.039	
VAR	3.27	344.64	359.45	87.13	68.82	0.15	0.0	0.3	121.6	65.5	38.4	147.8	873.1	0.00	0.08	118185	60162	59.6	70706.5	0.00	0.09	2.08	0.55	0.00000	0.001	

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm
ZONE 4																									
58-1.1	27.90	60.60	11.50	19.09	85.28	0.10	1	1	15	13	11	10	68	0.1	1.8	1790	510	9.0	283.3	0.31	0.62				
61-1.1	16.32	40.25	43.44	40.01	58.95	0.16	1	1	47	49	30	56	171	0.1	3.1	1500	1080	27.0	348.4	0.62	1.30	5.6494	0.7568	0.00037	0.032
62-1.1	8.42	59.17	32.41	29.13	72.80	0.05	3	1	35	40	55	27	138	3.0	1.5	700	490	0.7	326.7	1.39	1.87				
N	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	
MOY	17.55	53.34	29.12	29.41	72.34	0.10	1.6	0.8	32.3	34.0	32.0	31.0	125.7	1.09	2.13	1330	693	12.2	319.5	0.77	1.26	5.65	0.76	0.00037	0.032
MIN	8.42	40.25	11.50	19.09	58.95	0.05	0.7	0.7	15.0	13.0	11.0	9.9	68.0	0.13	1.50	700	490	0.7	283.3	0.31	0.62				
MAX	27.90	60.60	43.44	40.01	85.28	0.16	3.0	1.0	47.0	49.0	55.0	56.0	171.0	3.00	3.10	1790	1080	27.0	348.4	1.39	1.87				
ECART	9.80	11.36	16.22	10.46	13.17	0.06	1.3	0.2	16.2	18.7	22.1	23.3	52.6	1.66	0.85	565	335	13.5	33.1	0.56	0.63				
VAR	96.00	129.02	263.18	109.47	173.47	0.00	1.6	0.0	261.3	351.0	487.0	543.1	2766.3	2.74	0.72	318700	112233	181.2	1096.9	0.31	0.39				
SECTEUR 3																									
65-1.1	2.73	81.60	15.68	21.34	75.03	0.02	1	1	18	14	12	10	62	0.1	0.9	370	130	27.0	144.4	0.31	0.55	4.4338	0.2310	0.00037	0.007
ZONE 3																									
66-1.1	0.00	16.03	83.97	58.28	43.86	0.11	1	1	77	56	48	39	188	0.6	2.2	2240	895	16.0	406.8	0.80	1.47				
66-1.2	0.00	18.49	81.51	40.60	52.20	0.23	1	2	59	68	45	63	368	0.2	1.8	1190	880	6.0	488.9	0.70	1.57				
66-1.3					56.68	0.53	1	2	80	72	44	70	268	0.2	2.2	1520	1150	7.0	522.7	0.73	1.84	6.3377	0.9533	0.00045	0.088
66-2.1	1.93	86.83	11.24	17.59	80.43	0.02	1	1	13	13	9	18	44	0.1	0.7	183	63	17.0	90.0	0.24	0.44				
67-1.1	0.00	12.87	87.13	51.58	37.52	0.06	1	1	69	52	41	34	174	0.3	1.8	815	475	9.0	263.9	0.54	1.11				
67-1.2	0.49	96.41	3.11	21.32	78.55	0.01	1	1	9	6	6	10	19	0.1	0.5	1375	310	25.0	620.0	0.28	0.41				
67-2.1	0.18	26.95	72.87	41.73	43.87	0.08	1	2	65	54	38	22	171	0.3	1.9	1705	815	3.0	428.9	0.56	1.21				
68-1.1	0.45	36.52	63.03	46.14	67.40	0.06	1	3	46	38	27	24	137	0.1	1.5	810	459	4.0	306.0	0.40	1.01				
68-1.2	0.55	82.17	17.28	21.44	77.52	0.02	1	1	13	10	8	10	36	0.1	0.7	190	90	15.0	128.6	0.22	0.43				
68-2.1	0.00	98.51	1.49	23.25	78.27	0.01	1	1	6	3	3	10	25	0.1	0.6	170	50	15.0	83.3	0.18	0.32				
69-1.1	0.54	47.54	51.92	38.81	44.89	0.06	1	2	60	49	36	29	168	0.2	1.8	970	565	3.0	313.9	0.49	1.11				
69-1.2	1.32	46.22	52.46	29.51	64.84	0.16	2	2	46	40	24	46	139	0.2	1.6	2195	770	1.3	481.3	0.52	1.14				
69-2.1	0.00	98.91	1.09	21.39	78.53	0.08	1	1	1	3	3	10	26	0.1	0.4	1505	420	21.0	1050.0	0.26	0.41				
71-1.1	0.92	23.36	75.72	48.40	50.83	0.30	1	1	46	40	26	54	136	0.2	1.6	2200	750	36.0	468.8	0.66	1.31	5.6757	1.0750	0.00034	0.025
71-1.2	27.61	59.30	13.09	18.91	73.97	0.14	1	1	23	25	14	49	70	0.3	0.9	2125	760	27.0	844.4	0.54	0.93				
72-1.1	1.81	23.52	74.67	48.30	64.90	0.12	1	1	56	66	63	10	130	0.3	2.3	3360	1330	4.3	578.3	0.62	1.23				
72-1.2	1.05	21.71	77.24	43.61	44.89	0.42	2	2	62	55	36	59	173	0.2	1.6	3540	1445	16.0	903.1	0.74	1.61	8.1033	2.2884	0.00033	0.052
73-1.1	1.71	51.16	47.13	31.07	51.79	0.27	1	1	42	41	23	33	134	0.2	2.2	3130	965	18.0	438.6	0.60	1.22				
73-2.1	0.02	68.87	31.11	26.09	67.49	0.16	1	2	26	28	14	22	105	0.1	0.9	2045	590	18.0	655.6	0.43	0.90				
N	18.00	18.00	18.00	18.00	19.00	19.00	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	3	3	3	
MOY	2.14	50.85	47.00	34.89	60.97	0.15	1.0	1.4	42.0	37.9	26.8	32.2	132.2	0.21	1.43	1646	673	13.8	477.5	0.50	1.04	6.71	1.44	0.00037	0.055
MIN	0.00	12.87	1.09	17.59	37.52	0.01	0.7	0.7	0.7	3.3	3.3	9.9	19.0	0.13	0.40	170	50	1.3	83.3	0.18	0.32	5.68	0.95	0.00033	0.025
MAX	27.61	98.91	87.13	58.28	80.43	0.53	2.0	3.0	80.0	72.0	63.0	70.0	368.0	0.60	2.30	3540	1445	36.0	1050.0	0.80	1.84	8.10	2.29	0.00045	0.088
ECART	6.39	30.86	31.92	12.93	14.51	0.14	0.4	0.7	25.4	22.5	17.4	19.8	88.4	0.11	0.65	1019	400	9.5	263.1	0.19	0.45	1.25	0.74	0.00007	0.031
VAR	40.84	952.44	1019.00	167.28	210.40	0.02	0.2	0.5	643.2	508.5	302.3	392.6	7815.3	0.01	0.42	1037945	159727	89.3	69218.8	0.04	0.21	1.57	0.54	0.00000	0.001

Tableau 11 (suite). Résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons.

ECHAN- TILLON NO	GRAVIER %	SABLE %	SILT - ARGILE %	HUMIDI- TE %	SOLIDE %	MERCURE (moy) mg/kg	ARSENIC mg/kg	CADMIUM mg/kg	CHROME mg/kg	CUIVRE mg/kg	NICKEL mg/kg	PLOMB mg/kg	ZINC mg/kg	CYANURES mg/kg	C.O.T. %	H. & G. TOTALES ppm	H. & G. MINERALES ppm	T.O.X. ppm	H&Gm/COT (x 10 000)	INDICE QUALITE A *	INDICE QUALITE B **	ALIPH. TOTAUX ppm	HPA TOTAUX ppm	PESTIC. TOTAUX ppm	BPC TOTAUX ppm
ZONE 8																									
74-1.1	2.21	63.19	34.60	33.42	67.71	0.11	1	1	30	41	18	10	193	0.1	1.1	2155	730	8.9	663.6	0.43	0.83	5.0330	1.6422	0.00045	0.016
74-2.1	1.66	76.19	22.15	26.76		0.03	1	1	83	23	13	18	80	0.5	0.8	253	164	14.0		0.44	0.81				
75-1.1	0.10	96.89	3.01	20.68	79.11	0.05	1	1	7	8	6	10	30	0.1	0.4	1455	355	8.8	887.5	0.23	0.40	1.1957	0.0504	0.00045	0.009
75-2.1	24.31	68.12	7.57	16.81	86.41	0.08	1	1	9	8	3	10	37	0.1	0.3	219	129	19.0	430.0	0.22	0.42				
76-1.1	14.98	79.95	5.07	19.04	80.31	0.01	1	2	6	8	3	10	27	0.1	0.2	253	168	28.0	840.0	0.26	0.48				
76-2.1	11.35	85.29	3.36	12.52	89.58	0.01	2	2	17	7	7	10	39	0.1	0.4	219	125	8.0	312.5	0.21	0.47				
77-1.1	9.32	87.84	2.85	15.27	89.53	0.04	1	3	4	7	3	10	18	0.1	0.2	181	103	7.0	515.0	0.17	0.47				
77-2.1	0.87	97.44	1.69	22.50	77.61	0.03	1	2	7	8	22	10	106	0.1	0.2	148	101	14.0	505.0	0.26	0.53				
N	8.00	8.00	8.00	8.00	7.00	8.00	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	2	2	2	
MOY	8.10	81.86	10.04	20.88	81.47	0.05	0.9	1.5	20.3	13.8	9.5	15.0	66.3	0.17	0.45	610	234	13.5	593.4	0.28	0.55	3.11	0.85	0.00045	0.012
MIN	0.10	63.19	1.69	12.52	67.71	0.01	0.7	0.7	4.0	7.0	3.3	9.9	18.0	0.13	0.20	148	101	7.0	312.5	0.17	0.40	1.20	0.05	0.00045	0.009
MAX	24.31	97.44	34.60	33.42	89.58	0.11	2.0	3.0	82.7	41.0	22.0	17.6	193.0	0.45	1.10	2155	730	28.0	887.5	0.44	0.83	5.03	1.64	0.00045	0.016
ECART	8.57	12.47	11.93	6.72	7.81	0.03	0.5	0.8	26.6	12.3	7.3	2.7	59.3	0.11	0.33	762	216	7.1	212.8	0.10	0.17	2.71	1.13	0.00000	0.004
VAR	73.51	155.62	142.30	45.11	61.05	0.00	0.2	0.7	706.5	151.1	53.5	7.5	3517.8	0.01	0.11	579885	46810	51.0	45300.8	0.01	0.03	7.36	1.27	0.00000	0.000
GLOBAL																									
N	156.00	156.00	156.00	156.00	172.00	175.00	175	175	175	175	175	175	175	175	176	174	174	172	172	176	176	35	35	35	3
MIN	0.00	3.98	0.43	7.80	26.20	0.01	0.7	0.7	0.7	3.3	3.3	9.9	15.0	0.13	0.07	85	20	0.7	10.3	0.14	0.16	1.08	0.05	0.00033	0.003
MAX	55.02	99.57	96.03	133.05	91.53	1.41	26.0	37.0	131.0	2724.0	1813.0	452.0	5237.0	3.00	11.90	3540	2125	438.0	5794.1	7.37	16.68	36.41	49.16	0.00772	0.616
MOY	7.1	52.5	40.4	33.1	66.1	0.2	2.4	2.4	34.0	61.2	32.4	42.2	270.5	0.20	1.98	965	571	28.2	397.2	0.68	1.44	8.06	3.22	0.00079	0.077
ECART	11.5	28.0	29.9	16.3	14.2	0.2	3.3	4.1	25.3	232.1	136.2	58.7	596.6	0.2408	1.9179	758	479	61.0	518.8	0.87	1.83	7.9	8.4	0.00148	0.127
VAR	132.9	784.4	892.7	265.6	200.4	0.0	10.7	16.4	642.2	53855.3	18536.9	3448.6	355984.9	0.0580	3.6782	574295	229226	3724.6	269182.5	0.76	3.37	61.8	71.3	0.00000	0.016

\* : Indice de qualite calcule d'apres les criteres de Vigneault et al (1978).

\*\* : Indice de qualite calcule d'apres les criteres du Ministere de l'Environnement de l'Ontario.

La zone adjacente aux quais de la zone 1 et la partie amont de l'estuaire sont par contre beaucoup plus sableuses et même graveleuses dans certains cas. A la sortie de l'estuaire (zone 8), les sédiments deviennent très sableux. Cette dernière caractéristique est généralisée à l'ensemble de la rive nord. Le pourcentage de gravier est généralement négligeable à l'exception des stations situées près du quai 22, à l'entrée de la marina de Sillery et près du quai Irving. Le pourcentage de silt et argile ne dépasse les 25% qu'à quelques stations situées sur la plate-forme intertidale peu exposée aux courants notamment à l'angle des quais 105 et 106, dans la marina de Sillery et à trois stations à l'ouest de la marina.

Sur la rive sud, les sédiments sont relativement sableux à l'est de l'embouchure de la rivière Etchemin et deviennent de plus en plus fins vers les installations d'Ultramar. Seule la station située près des caissons de déchargement est très graveleuse et serait perturbée par les assises et le dragage des caissons. Plus à l'est, la granulométrie des sédiments varient d'un sable boueux à une boue sableuse (sable > 50%, boue (silt + argile) < 50% à boue > 50%, sable < 50%). Près du quai de Lévis la composante gravier augmente sensiblement et représente un sédiment résiduel où une bonne partie de la fraction fine ne peut se déposer.

La zone des chantiers MIL Davie est caractérisée par des sédiments boueux à l'intérieur des structures. Plus l'on s'éloigne des structures, plus la composante sable augmente.

## 7.2.2 Description des sédiments subsurface

Généralement, la variation granulométrique verticale du sédiment est négligeable dans la couche échantillonnée (en moyenne 30 à 40 cm). Les changements granulométriques verticaux importants se situent au niveau des sites suivants:

### **Gare maritime Champlain**

Trois stations de cette zone présentent un changement brusque d'un sable bien trié en surface (0-3 cm) à une boue grise compacte en profondeur (3-24 cm). Cette boue grise est composée de 71 à 96% de silt et argile et pourrait être d'origine ancienne étant donné sa forte compaction.

### **Plate-forme intertidale du secteur 2 et du secteur 5**

Quelques échantillons prélevés sous la couche de surface étaient composés d'un matériel très compact parfois rougeâtre. La granulométrie de ce type de sédiments est très hétérogène et est composé de fractions graveleuse, sableuse et boueuse (silt et argile) équivalentes. Ce matériel contraste avec le sédiment de surface plus mou et plus homogène. Il est parfois en contact du roc ce qui suggère une origine ancienne. Il pourrait s'apparenter à un till.

### **Chantier MIL Davie**

Certaines stations caractérisées par la présence d'une boue sableuse en surface (0-5 cm) recouvrant un matériel composé à plus de 80% de sable. Cet arrangement stratigraphique indique que les conditions hydrodynamiques ont été fortement modifiées par l'implantation des structures du chantier maritime. Cette caractéristique stratigraphique apparaît clairement dans les coupes stratigraphiques de Hamelin (1987).

### 7.3 ASPECTS HYDRODYNAMIQUES

Bien que certaines échantillons récoltés en surface puissent représenter des conditions géologiques passées ou modifiés par certains dragages, les sédiments superficiels récoltés dans le port de Québec représentent généralement les conditions hydrodynamiques actuelles du port. La granulométrie des sédiments superficiels permet donc de définir les traits généraux des conditions hydrodynamiques responsables de cette répartition.

La figure no 9 présente la répartition des zones hydrodynamiques du port de Québec. Cette figure a été conçue à partir de l'analyse des résultats granulométriques et des références disponibles (Centreau, 1978, Service Hydrographique du Canada, 1984; Laboratoire d'Hydraulique Lasalle, 1989, 1982, 1972).

En général, les parties du port situées près du chenal de navigation sont caractérisées par des vitesses de courant supérieures à 3 noeuds, soit plus de 1.5 mètres par seconde. Dans ces parties du port, le sédiment est généralement composé à plus de 70% par du sable et du gravier.

Les parties du port situé en retrait comme les baies, les anses, les marinas représentent des havres où les vitesses de courant sont très faibles et permettent la sédimentation de matériel silteux et argileux. Ces parties du port représentent aussi les endroits où l'activité portuaire actuelle et passée est la plus importante. Ces endroits sont généralement caractérisés par une fraction de silt et d'argile supérieure à 45%.

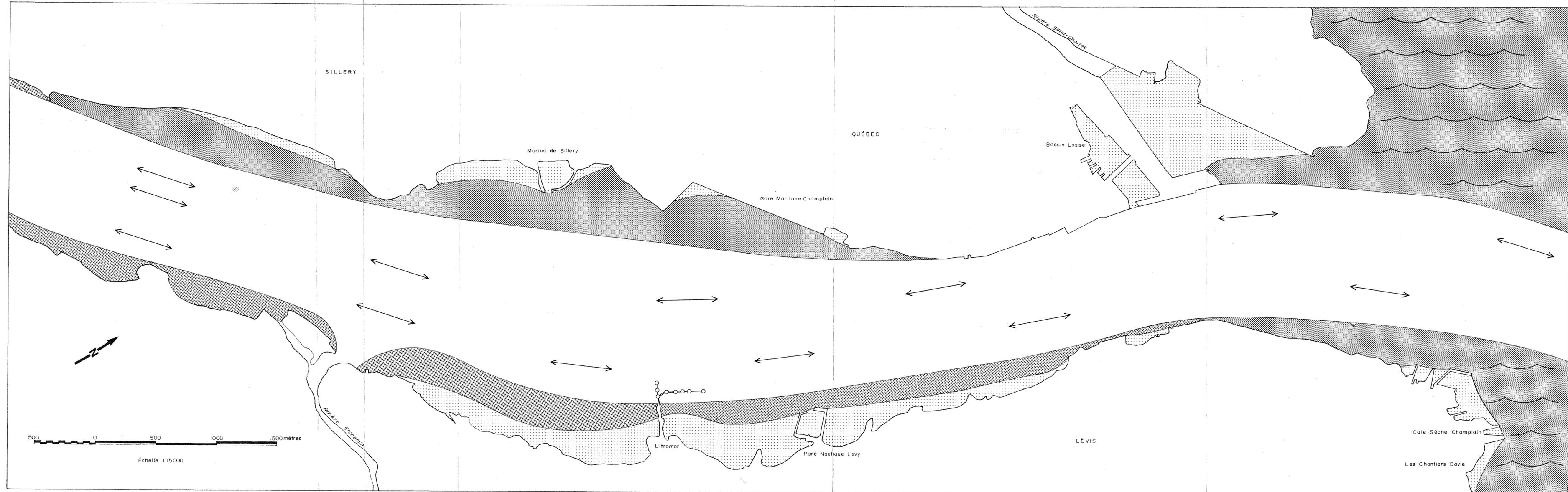
L'extrémité est de la zone à l'étude (zone 3 et zone 8) peut être soumise à une forte agitation due aux vagues. En effet, dans cette région la distance d'eau libre permet la génération de vagues. Cette situation pourrait expliquer une partie des fortes variations granulométriques de la zone 3, celle-ci étant située à l'abri des forts courants.

CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no. 9

Conditions hydrodynamiques générales

-  courant fort
-  courant moyen
-  courant faible  
zone de sédimentation fine
-  zone exposée aux vagues



## 8. QUALITE DES SEDIMENTS

Les résultats des analyses granulométriques et chimiques des échantillons sont présentés dans le tableau no 11. L'analyse des résultats a été séparée en cinq volets:

- les paramètres inorganiques;
- les paramètres organiques globaux;
- les indices de qualité;
- les traitements statistiques des paramètres inorganiques et globaux;
- les paramètres organiques fins.

Pour fins d'analyse et d'interprétation, les critères suivants furent utilisés. La plupart proviennent des critères d'évaluation de qualité de Vigneault et al (1978). Ces critères ont été établis pour fins de disposition de matériaux de dragage en eau libre et ne correspondent pas nécessairement à une limite au-delà de laquelle la restauration est privilégiée. En l'absence de critères de restauration, nous avons dû utiliser les critères disponibles.

	Acceptable	Non-acceptable
C.O.T.	1.5%	5.0%
Huiles et graisses	1000 PPM	2000 PPM
Arsenic	3 PPM	6 PPM
Cadmium	5 PPM	8 PPM
Chrome	70 PPM	90 PPM
Cuivre	30 PPM	60 PPM
Mercure	0,3 PPM	1,0 PPM
Plomb	20 PPM	60 PPM
Zinc	80 PPM	175 PPM
BPC totaux	0,05 PPM	0,1 PPM
Nickel	-	55 PPM
Cyanures	0,1 PPM	0,25 PPM
Pesticides totaux	-	0,05 PPM
HAP	-	2,5 PPM
H. Aliphatiques	-	70 PPM
TOX	-	20 PPM

Pour le nickel, la limite d'inacceptabilité utilisée fut de 55 ppm (Swiss et al., 1982). Pour les cyanures, nous avons utilisé respectivement 0,1 et 0,25 ppm (IJC, 1989) comme critère d'acceptabilité et de non-acceptabilité. Avec les pesticides organo-halogénés totaux, la limite de non-acceptabilité fut de 0,05 ppm (Comité aviseur des rejets en mer, région du Québec, 1976).

Pour les HAP, nous avons utilisé un critère de non-acceptabilité égal à 2,5 ppm (concentration limite intérimaire proposée par Environnement Canada, région du Pacifique et du Yukon). Enfin, le critère de non-acceptabilité pour les hydrocarbures aliphatiques totaux a été fixé à 70 ppm (Marchand et Roucaché, 1981).

Comme les T.O.X. regroupent plusieurs composés halogénés de propriétés différentes et de toxicité variée (BPC, chlorophénols, bromométhanes, pesticides, etc.) aucun critère environnemental n'a encore été suggéré dans la littérature. Par conséquent, afin de mettre en relief les zones et les secteurs les plus contaminés du port de Québec, nous avons choisi une limite arbitraire de non-acceptabilité de 20 ppm, qui se trouve légèrement sous la moyenne globale du port (28,2 ppm).

## 8.1 PARAMÈTRES INORGANIQUES

### 8.1.1 Vue d'ensemble du port de Québec

Le tableau no 11 présente des résultats des analyses pour tous les échantillons analysés. Pour chacune des zones et des secteurs les statistiques de base ont été calculées. A cette fin, les résultats inférieurs aux différentes limites de détection ont été normalisés en prenant comme concentration le 2/3 de la limite de détection.

Le tableau no 12 résume les moyennes et les écarts-type des différents paramètres inorganiques pour l'ensemble du port de Québec et pour les différentes zones et secteurs spécifiques du port.

Dans l'ensemble du port de Québec, les paramètres suivants se retrouvent à des teneurs moyennes supérieures aux critères de non-acceptabilité.

- Zinc: Les plus fortes teneurs (plus de deux fois supérieures aux critères de non-acceptabilité) sont concentrées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, dans le bassin Louise et au quai d'Ultramar.
- Cuivre: Les plus fortes teneurs sont groupées dans le bassin Louise et dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles.

Les paramètres suivant sont à des teneurs moyennes supérieures aux critères d'acceptabilité:

- Plomb: Les plus fortes teneurs sont dans le Bassin Louise et dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles.
- Cyanures: La plus forte teneur est localisée au quai de Lévis.

Tableau 12: Moyenne et écart-type des analyses inorganiques des sédiments par zone et par secteur (mq/kg).

<u>Paramètre</u> Moyenne (écart-type)	<u>Mercur</u>	<u>Plomb</u>	<u>Zinc</u>	<u>Cuivre</u>	<u>Nickel</u>	<u>Chrome</u>	<u>Cadmium</u>	<u>Arsenic</u>	<u>Cyanures</u>
Zone 1	<u>0,31</u> (0,23)	<u>54,0</u> (43,3)	<u>805,0</u> (1173,0)	<u>179,0</u> (302,6)	<u>76,3</u> (302,6)	40,2 (31,0)	4,0 (4,8)	<u>3,6</u> (5,5)	<u>0,21</u> (0,11)
Zone 2	<u>0,42</u> (0,16)	136,3 (112,4)	368,7 (202,7)	74,0 (30,4)	33,9 (15,4)	54,5 (18,1)	1,9 (1,4)	6,3 (2,5)	<u>0,19</u> (0,04)
Zone 3	0,15 (0,14)	<u>32,2</u> (19,8)	<u>132,2</u> (88,40)	<u>37,9</u> (22,5)	26,8 (17,4)	42,0 (25,4)	1,4 (0,7)	1,0 (0,4)	<u>0,21</u> (0,11)
Zone 4	0,10 (0,06)	<u>31,0</u> (23,3)	<u>125,7</u> (52,6)	<u>34,0</u> (18,7)	32,0 (22,1)	32,3 (16,20)	0,8 (0,2)	1,6 (1,3)	<u>1,09</u> (1,66)
Zone 5	0,15 (0,08)	<u>27,4</u> (16,8)	<u>138,9</u> (49,3)	<u>34,3</u> (14,2)	28,2 (8,6)	45,8 (17,3)	1,6 (1,3)	1,1 (0,6)	<u>0,15</u> (0,03)
Zone 6	0,05 (0,04)	18,6 (14,6)	63,4 (41,7)	13,6 (10,6)	10,9 (8,4)	10,6 (9,9)	0,7 (0,1)	2,3 (1,6)	<u>0,20</u> (0,20)
Zone 7	0,04 (0,02)	9,9 (0,0)	58,0 (15,1)	14,0 (3,6)	13,3 (3,5)	13,0 (3,6)	0,8 (0,2)	0,7 (0,0)	<u>0,13</u> (0,00)
Zone 8	0,05 (0,03)	15,0 (2,7)	66,3 (59,3)	13,8 (12,3)	9,5 (7,3)	20,3 (26,6)	1,5 (0,8)	0,9 (0,5)	<u>0,17</u> 0,11
Secteur 1	0,09 (0,08)	38,9 (62,1)	43,0 (13,0)	7,2 (8,8)	5,4 (0,5)	7,2 (9,5)	0,7 (0,0)	1,6 (0,5)	0,19 (0,12)
Secteur 2	0,11 (0,16)	15,4 (12,7)	<u>89,2</u> (91,8)	20,9 (19,8)	16,4 (11,6)	24,7 (25,7)	3,8 (5,5)	1,7 (2,1)	<u>0,19</u> (0,16)
Secteur 3*	0,02	10,0	62,0	14,0	12,0	18,0	1,0	1,0	<u>0,10</u>
Secteur 4	0,28 (0,39)	<u>24,7</u> (12,2)	<u>104,1</u> (29,5)	<u>30,5</u> (8,1)	24,7 (6,2)	38,8 (11,0)	1,0 (0,5)	0,7 (0,0)	<u>0,13</u> (0,0)
Secteur 5	0,08 (0,04)	15,7 (9,4)	77,3 (35,1)	19,2 (11,2)	16,7 (8,3)	24,5 (14,0)	4,3 (8,8)	1,3 (1,8)	<u>0,18</u> (0,12)
Port de Québec	0,19 (0,21)	<u>42,2</u> (58,7)	270,5 (596,6)	61,2 (232,1)	32,4 (136,2)	34,0 (25,3)	2,4 (4,1)	2,4 (3,3)	<u>0,20</u> (0,24)

\* : 1 seule station pour ce secteur  
 — : valeur supérieure au critère d'acceptabilité  
 — : valeur supérieure au critère de non acceptabilité

### 8.1.2 Zones et secteurs

Les paramètres suivants montrent des teneurs moyennes par zone supérieures aux critères de non-acceptabilité (tableau no 11 et tableau no 12).

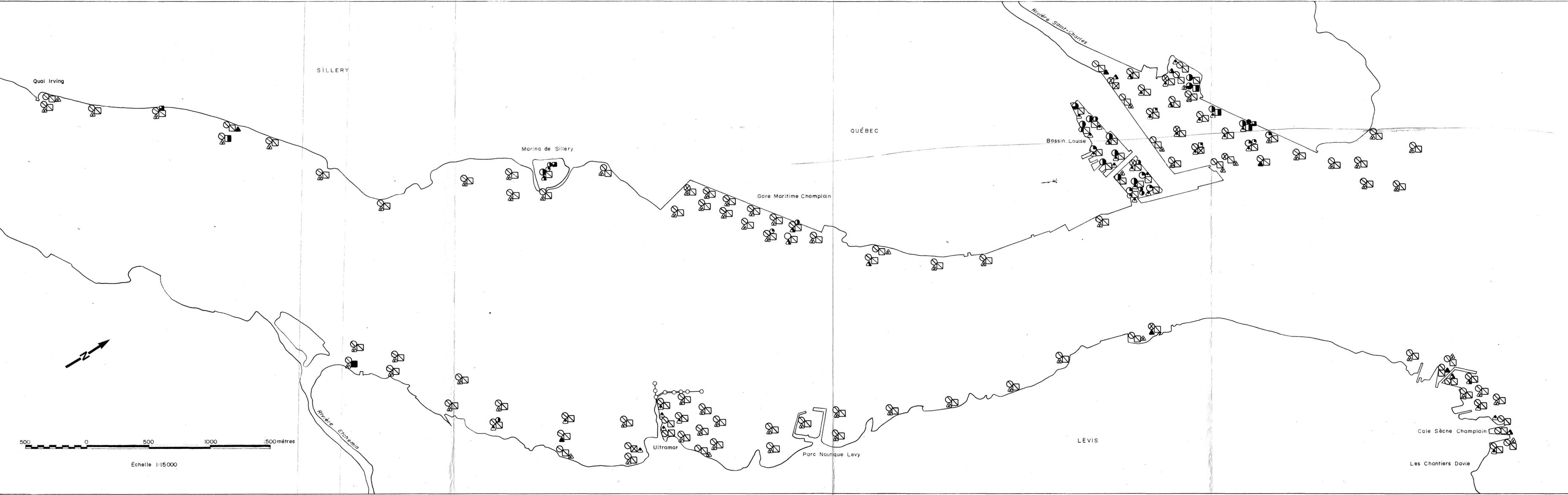
- Cyanures: (Fig.10) Les plus fortes teneurs individuelles se retrouvent à quelques stations dans la zone 4 et 6 et dans le secteur 2. Un échantillon de la marina de Sillery montre des teneurs 3 fois supérieures au critère de non-acceptabilité.
- Zinc: (Fig.11) La zone 1 montre des teneurs parfois supérieures à 4 fois le critère de non-acceptabilité. Les concentrations dans la zone 2 varient de 2 à 4 fois le critère de non-acceptabilité. Les sédiments de la zone 5 ont des concentrations légèrement inférieures au critère de non-acceptabilité.
- Cuivre: (Fig. 11) La zone 1 montre les plus fortes teneurs avec, en moyenne, 3 fois le critère de non-acceptabilité. La zone 2 est légèrement supérieure au critère de non-acceptabilité.
- Plomb: (Fig. 12) La zone 2 montre une teneur moyenne 2 fois supérieure au critère de non-acceptabilité. Le bassin intérieur du bassin Louise montre les plus fortes teneurs individuelles.
- Nickel: (Fig. 13) La zone 1 montre une teneur légèrement supérieure au critère de non-acceptabilité. Les stations au milieu de l'estuaire de la rivière Saint-Charles sont les plus contaminées.
- Arsenic: (Fig. 10) La zone 2 est la plus contaminée avec des teneurs individuelles une à deux fois supérieures au critère de non-acceptabilité. Dans la zone 2 (bassin Louise), le bassin intérieur montre les plus fortes teneurs.

Les paramètres suivants montrent des teneurs moyennes supérieures aux critères d'acceptabilité:

CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.10

Concentrations en cadmium, en arsenic et en cyanures des sédiments prélevés en 1989.



Concentration en cadmium (mg / kg)

- < 1
- ▣ 1 - 4,99
- ⊠ 5 - 6,49
- ▢ 6,5 - 7,99
- 8 - 15,9
- 16 - 31,9
- > 32

Critères de qualité utilisés:  
Limite d'acceptabilité : 5  
Limite de non acceptabilité : 8

Concentration en arsenic (mg / kg)

- < 1
- ⊖ 1 - 2,99
- ⊗ 3 - 4,49
- ⊙ 4,5 - 5,99
- ⊕ 6 - 11,9
- ⊗ 12 - 23,9
- > 24

Critères de qualité utilisés:  
Limite d'acceptabilité : 3  
Limite de non acceptabilité : 6

Concentration en cyanures (mg / kg)

- △ < 0,2 ou 0,1-0,18
- △ < 0,3 ou 0,18-0,24
- △ < 0,4 < 0,5 < 0,6 ou 0,25-0,49
- ▲ ≥ 0,5

Critères de qualité utilisés:  
Limite d'acceptabilité : 0,1  
Limite de non acceptabilité : 0,25

○ surface  
⊙ mi-profondeur  
● profondeur



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.13

Concentrations en nickel et en chrome des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en nickel (mg/kg)

- < 5
- ▣ 5 - 19
- ⊠ 20 - 37
- ▣▣ 38 - 54
- 55 - 109
- 110 - 219
- 220

Critère de qualité utilisé :

Limite de non acceptabilité : 55

Concentration en chrome (mg/kg)

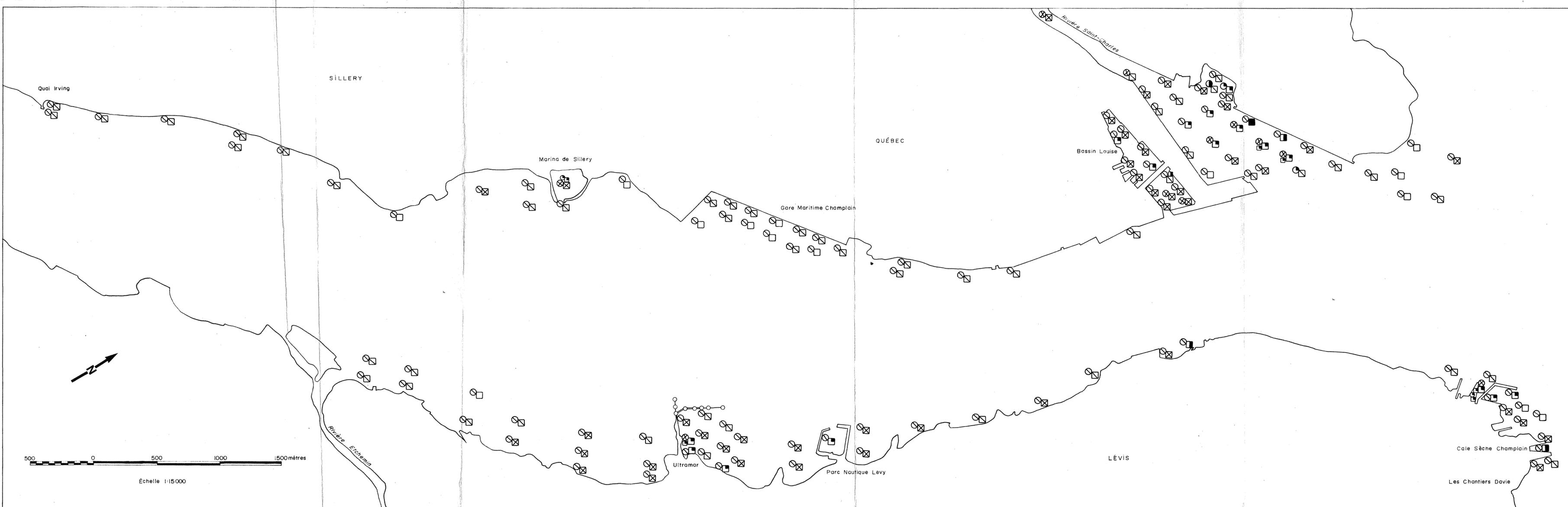
- < 1
- ⊖ 1 - 69
- ⊗ 70 - 79
- ⊙ 80 - 89
- 90 - 179
- 180 - 359
- > 360

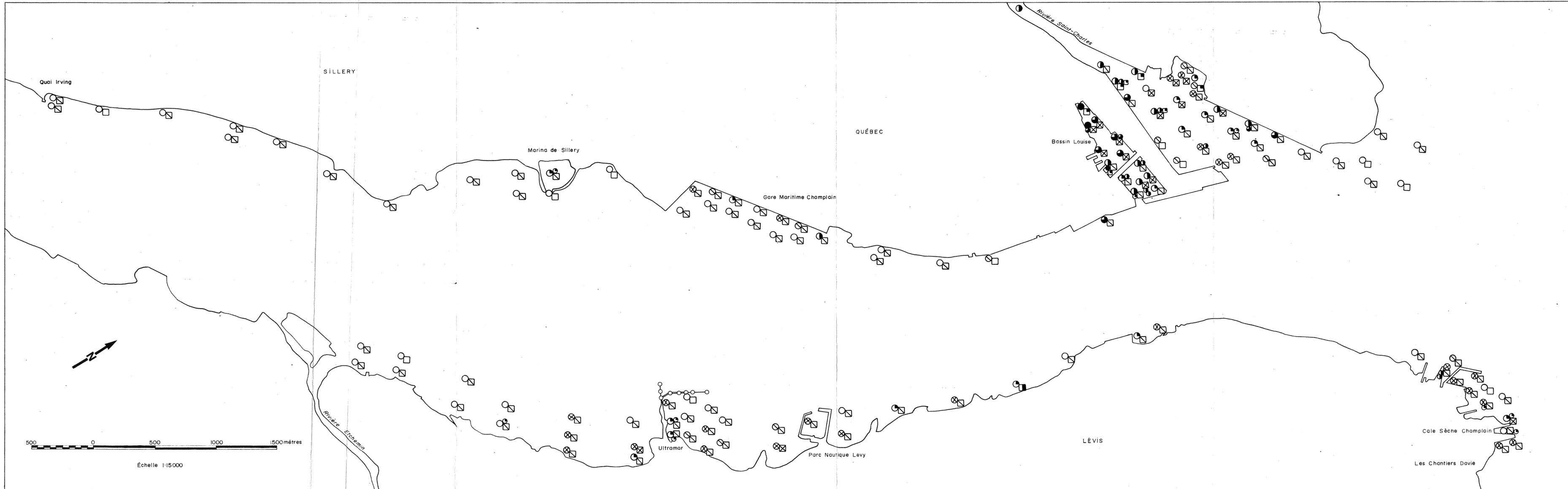
Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité : 70

Limite de non acceptabilité : 90

- surface
- ◐ mi-profondeur
- ◑ profondeur





CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.12

Concentrations en mercure et en plomb des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en mercure (mg/kg)

- < 0,02
- ▣ 0,02 - 0,29
- ⊠ 0,3 - 0,64
- ▣ 0,65 - 0,99
- 1,0 - 1,99
- 2,0 - 3,99
- > 4

Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité : 0,3  
 Limite de non acceptabilité : 1,0

Concentration en plomb (mg/kg)

- < 15
- ⊖ 15 - 19
- ⊗ 20 - 39
- ⊙ 40 - 59
- ⊙ 60 - 119
- 120 - 239
- > 240

Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité : 20  
 Limite de non acceptabilité : 60

- surface
- mi-profondeur
- profond



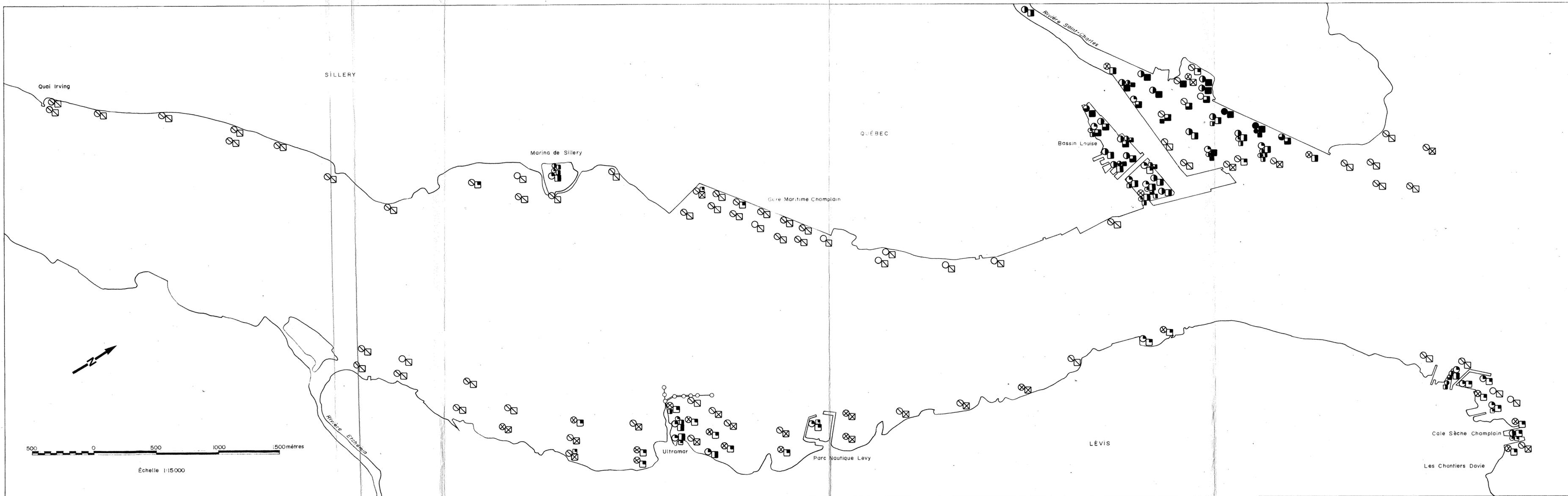
Échelle 1:15000



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.11

Concentrations en zinc et en cuivre des sédiments prélevés en 1989.



Concentration en zinc (mg/kg)

- < 2
- ◻ 2 - 79
- ⊠ 80 - 127
- ▣ 128 - 174
- 175 - 349
- 350 - 699
- > 700

Critères de qualité utilisés:  
 Limite d'acceptabilité : 80  
 Limite de non acceptabilité : 175

Concentration en cuivre (mg/kg)

- < 5
- ◌ 5 - 29
- ⊗ 30 - 44
- ⊙ 45 - 59
- 60 - 119
- 120 - 239
- > 240

Critères de qualité utilisés:  
 Limite d'acceptabilité : 30  
 Limite de non acceptabilité : 60

- surface
- ◌ mi-profondeur
- profondeur



- Zinc: (Fig. 11) Les zones 5, 3 et 4 suivies des secteurs 4 et 2 montrent, en ordre décroissant, des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité. Ce sont les régions du quai Ultramar, des chantiers M.I.L. Davie, du quai de Lévis et de la marina de Sillery.
- Cuivre: (Fig. 11) Les zones 3, 5 et 4 et le secteur 4, ordre décroissant, montrent des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité.
- Plomb: (Fig. 12) La zone 1, le secteur 1, les zones 3, 4 et 5 et le secteur 4 ont des teneurs moyennes supérieures, par ordre décroissant, au critère d'acceptabilité.
- Mercure: (Fig. 12) Les zones 2 et 1, par ordre décroissant, montrent des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité. Ces régions représentent l'estuaire de la rivière St-Charles et le Bassin Louise.
- Arsenic: (Fig. 10) La zone 1, soit l'estuaire de la rivière St-Charles, montre des teneurs supérieures au critère d'acceptabilité principalement sur la rive nord.

### 8.1.3 Variations verticales

Sur les figures 10, 11, 12, 13, 14 et 15 seules les stations qui montraient des concentrations situées près des critères de non-acceptabilité ou supérieures à ces critères ont été indiqués.

La majorité des paramètres inorganiques montrent peu de variation entre la surface et les sédiments sous-jacents aux stations échantillonnées en profondeur. Toutefois les zones et les secteurs suivants montrent des variations verticales notables:

- marina de Sillery: (Fig. 10, 11 et 13) Concentration de cadmium, de cuivre, de nickel et de chrome supérieure à celles observées en surface.

- bassin Louise:  
(Fig. 11 et 13) Concentrations de zinc, cuivre et nickel en profondeur supérieures à celles trouvées en surface.
  
- M.I.L. Davie et estuaire de la St-Charles:  
(Fig. 11 et 13) Concentrations de cuivre et de nickel trouvées en rivière profondeur supérieures à celles trouvées dans les sédiments de surface.
  
- Gare maritime Champlain:  
(Fig. 10) Concentration en arsenic supérieur en profondeur par rapport aux concentrations de surface.

## 8.2 PARAMETRES ORGANIQUES GLOBAUX

Les paramètres traités dans cette section sont le carbone organique total (C.O.T.), les huiles et graisses totales et minérales (H.et G. tot. et H.et G. min.) et les halogènes organiques totaux (T.O.X.). Le tableau no 11 présente les résultats pour tous les échantillons et les statistiques par zones et secteurs. Comme pour les paramètres inorganiques, les concentrations non-détectées représentent le 2/3 de la limite de détection. Le tableau 13 résume les moyennes et écarts-type obtenus pour l'ensemble du port de Québec, pour les zones et pour les secteurs.

### 8.2.1 Vue d'ensemble du port de Québec

Sur l'ensemble du port, les paramètres suivants montrent des teneurs moyennes supérieures aux critères d'acceptabilité:

- C.O.T.: La teneur moyenne est légèrement supérieure au supérieure au critère d'acceptabilité surtout à cause des teneurs individuelles trouvées dans l'estuaire de la rivière St-Charles et dans le Bassin Louise.  
(Fig. 14)
- T.O.X.: La valeur moyenne est supérieure au critère choisi pour ce paramètre. Les plus fortes teneurs se retrouvent dans le Bassin Louise et la rivière St-Charles.  
(Fig. 14)
- H. & G. totales: La teneur moyenne est légèrement inférieure (de 3%) au critère d'acceptabilité. Les plus fortes teneurs individuelles sont situées près de la M.I.L. Davie, à l'embouchure de la rivière St-Charles et dans le Bassin Louise.  
(Fig.15)

### 8.2.2 Zones et secteurs

Les paramètres suivants tels que résumés dans le tableau no 13 montrent des teneurs moyennes supérieures aux critères d'acceptabilité:

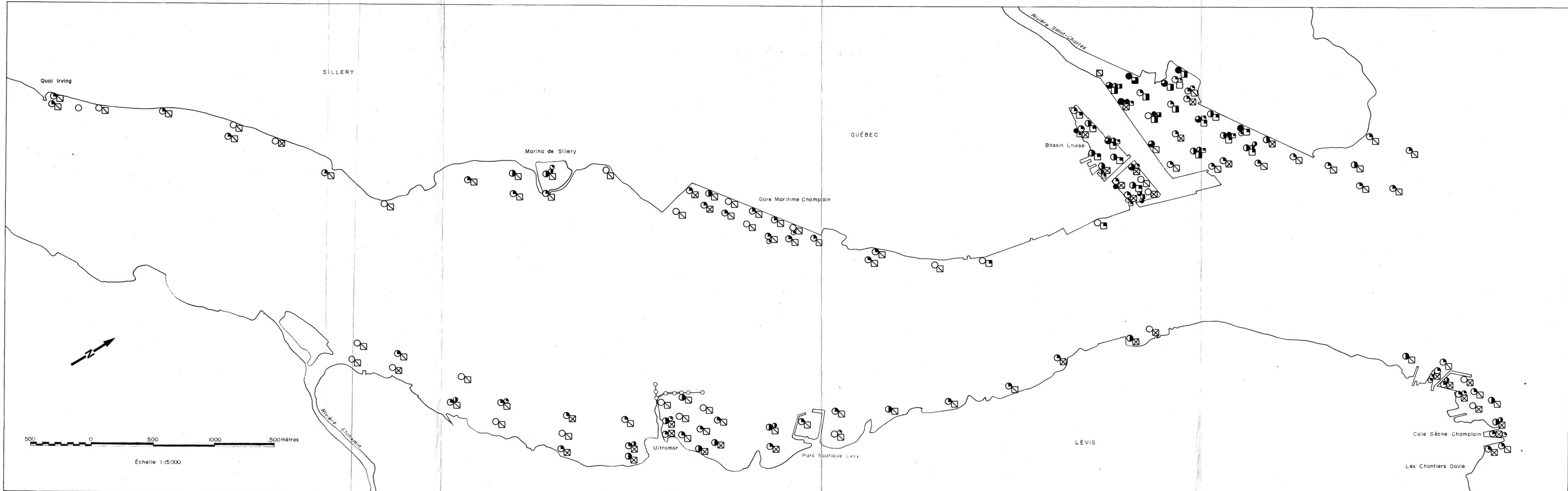
- C.O.T.:  
(Fig. 14)

Les zones 1,2 et 4, le secteur 1 et la zone 5 montrent, en ordre décroissant, les plus fortes teneurs moyennes. L'estuaire de la rivière St-Charles et le bassin intérieur du Bassin Louise sont les zones les plus contaminées et montrent des distributions très homogènes.

Tableau 13. Moyenne et écart-type des analyses organiques globales des sédiments par zone et par secteur.

Zone et secteur	C.O.T %	H et G tot. mg/kg	H et G min. mg/kg	T.O.X. mg/kg
Zone 1	<u>4,06</u> (3,01)	<u>1266</u> (798)	832 (480)	65,6 (88,9)
Zone 2	<u>3,21</u> (1,11)	<u>1513</u> (524)	<u>1121</u> (481)	65,5 (112,1)
Zone 3	1,43 (0,65)	<u>1646</u> (1019)	673 (400)	13,8 (9,5)
Zone 4	<u>2,13</u> (0,85)	<u>1330</u> (565)	693 (335)	12,2 (13,5)
Zone 5	<u>1,62</u> (0,61)	<u>1062</u> (533)	658 (417)	14,4 (15,6)
Zone 6	1,14 (0,40)	382 (195)	208 (105)	7,1 (6,9)
Zone 7	0,50 (0,20)	430 (238)	245 (87)	3,6 (3,3)
Zone 8	0,40 (0,32)	610 (762)	234 (216)	13,5 (7,1)
Secteur 1	<u>1,86</u> (1,37)	309 (227)	207 (223)	4,4 (4,7)
Secteur 2	0,75 (0,71)	507 (513)	327 (413)	9,7 (10,5)
Secteur 3*	0,90	370	130	27
Secteur 4	1,21 (0,29)	632 (344)	349 (245)	12,4 (7,7)
Secteur 5	1,06 (0,75)	482 (161)	210 (104)	7,4 (8,7)
Port de Québec	<u>2,00</u> (1,92)	<u>965</u> (758)	571 (479)	28,2 (61,0)

\* 1 seul échantillon dans ce secteur  
 - supérieur au critère d'acceptabilité  
 = supérieur au critère de non-acceptabilité



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.14

Concentrations en carbone organique total et en halogènes organiques totaux des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en carbone organique total (%)

- < 0,1
- ◻ 0,1 - 1,49
- ⊠ 1,5 - 3,24
- ▣ 3,25 - 4,99
- ▤ 5,0 - 9,9
- ▥ 10 - 19,9
- ▦ > 20

Critères de qualité utilisés :  
 Limite d'acceptabilité : 1,5  
 Limite de non acceptabilité : 5

Concentration en halogènes organiques totaux (mg / kg)

- < 4
- ◌ 4 - 19
- ◐ 20 - 49
- ◑ 50 - 99
- > 100

Critère de qualité utilisé :  
 Limite de non acceptabilité : 20

- surface
- ◌ mi-profondeur
- profondeur



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.16

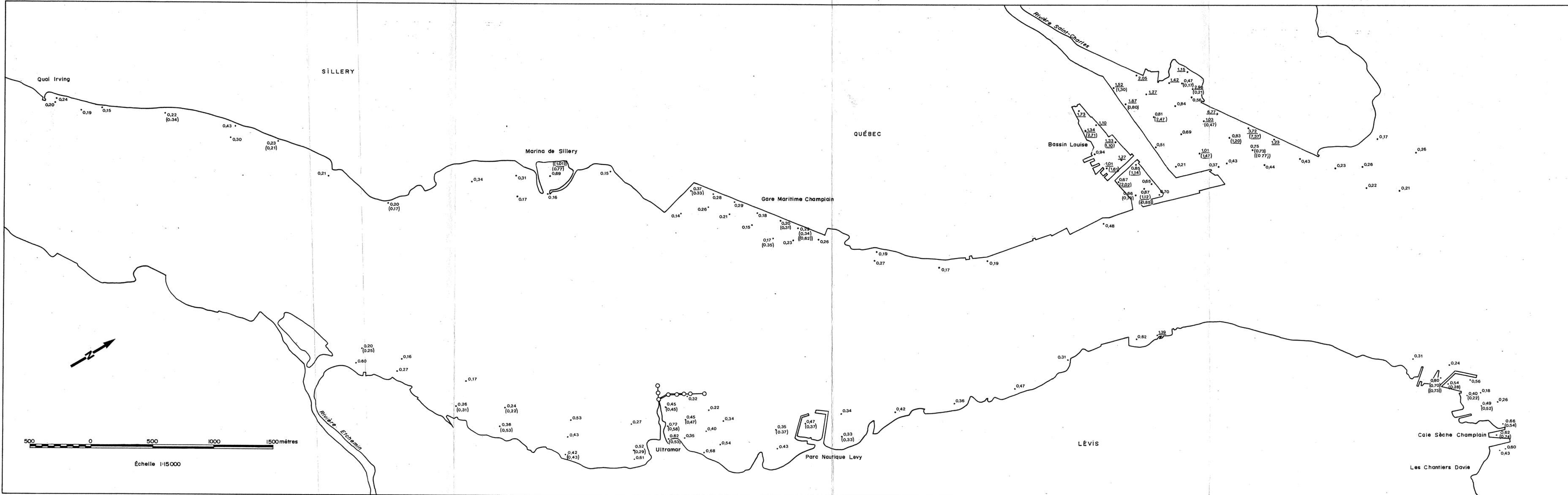
Indice de qualité A calculé\* des sédiments prélevés en 1989

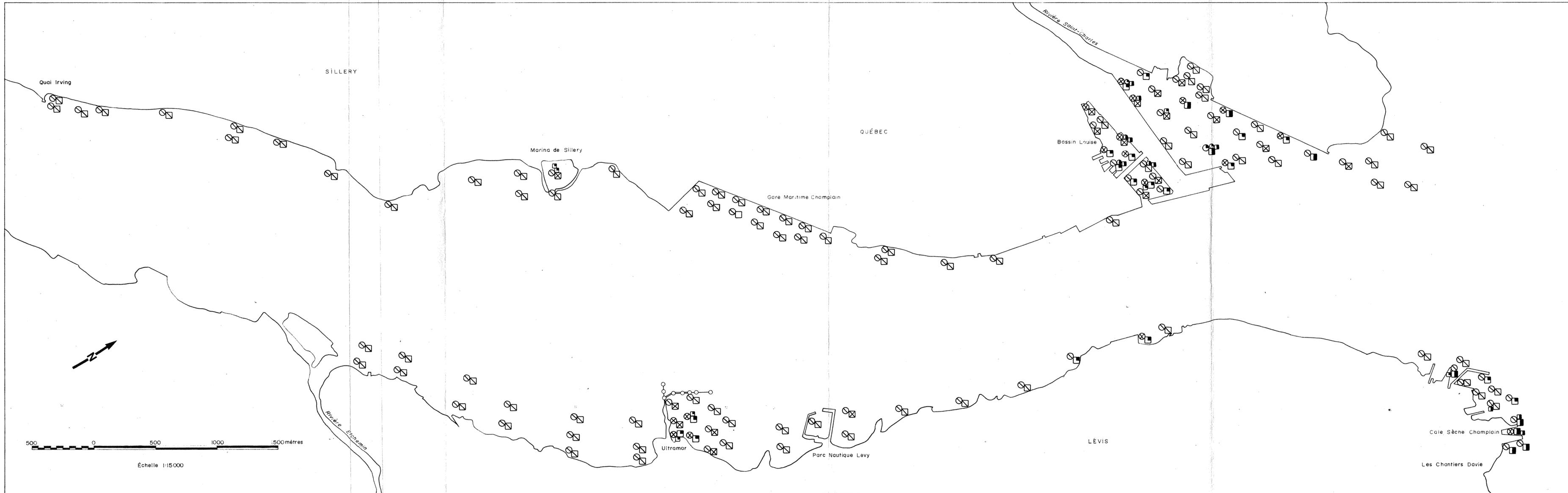
\* Calculé selon la formule Champoux et Sloterdijk (1985), modifié selon les critères suivants (mg/kg):

As	6
Cd	8
Cr	90
Cu	60
Hg	1,0
Ni	55
Pb	60
Zn	175
CN	0,25
COT	5
Het G tot	2000
TOX	20

0,75 — surface  
 (0,73) — mi-profondeur  
 ((1,11)) — profondeur

Les valeurs soulignées sont supérieures à 1.





CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.15

Concentrations en huiles et graisses totales et minérales des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en huiles et graisses totales (mg/kg)

- 0 - 999
- ⊠ 1000 - 1499
- ▣ 1500 - 1999
- 2000 - 3999
- 4000 - 7999
- > 8000

Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité: 1000

Limite de non acceptabilité: 2000

Concentration en huiles et graisses minérales (mg/kg)

- 0 - 999
- ⊗ 1000 - 1499
- ⊙ 1500 - 1999
- ⊖ 2000 - 3999
- 4000 - 7999
- > 8000

Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité: 1000

Limite de non acceptabilité: 2000

- surface
- mi-profondeur
- profondeur



- T.O.X.: (Fig. 14) Les zones 1 et 2 montrent des teneurs moyennes trois (3) fois supérieures au critère de non-acceptabilité. Elles correspondent à l'estuaire de la rivière St-Charles et au Bassin Louise. La distribution des concentrations est homogène dans ces zones. Le secteur 3, représenté par un seul échantillon, montre une teneur supérieure au critère de non-acceptabilité.
- H. et G.: totales (Fig. 15) Les zones 3, 2, 4, 1 et 5 montrent, en ordre décroissant, des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité. Elles représentent les chantiers M.I.L. Davie, surtout près de la cale sèche Champlain, le bassin Louise, le quai de Lévis, l'estuaire de la rivière St-Charles et enfin le quai d'Ultramar.
- H. et G.: minérales (Fig. 15) Seule la zone 2, soit le Bassin Louise montre une teneur moyenne supérieure au critère d'acceptabilité. Le bassin intérieur est le plus contaminé des deux bassins.

### 8.2.3 Variations verticales

La majorité des paramètres organiques globaux montrent peu de variation entre les sédiments de surface et les sédiments sous-jacents pour les stations où un échantillonnage en profondeur a été réalisé. Toutefois les zones et les secteurs suivants montrent des variations verticales:

- Bassin Louise: (Fig. 14 et 15) Les concentrations de carbone organique total, d'huiles et de graisses totales et d'huiles et de graisses minérales sont supérieures en profondeur par rapport aux concentrations de surface.
- Estuaire de la rivière St-Charles: (Fig. 15) Les sédiments de cette zone présentent généralement des plus fortes teneurs d'huiles et graisses totales en profondeur qu'en surface.

- Marina de Sillery:  
(Fig. 15)

Bien qu'une seule station soit échantillonnée à l'intérieur de la marina, les résultats indiquent que les concentrations d'huiles et graisses totales sont plus élevées en profondeur qu'en surface.

### 8.3 INDICES DE QUALITE

Trois différents indices de qualité ont été calculés afin de mieux distinguer les zones et les secteurs qui présentent une contamination globale intégrant plusieurs paramètres à la fois. Les résultats moyens pour les zones et les secteurs sont résumés dans le tableau 14.

Le premier indice est le rapport huiles et graisses minérales sur carbone organique total (H. et G./COT). Les unités du COT sont converties de % en ppm par un facteur de 10 000. Cet indice a été utilisé par plusieurs auteurs (Marchand et Roucaché, 1981; Farrington et Tripp, 1977; Philippi, 1965) et a été établi comme étant un indice significatif de pollution pétrolière. Selon ces auteurs, les valeurs de cet indice dans les sédiments non pollués varient de 9 à 180 x 10<sup>-4</sup>. Ce rapport devient supérieur à 200 x 10<sup>-4</sup> dans les sédiments pollués.

Les deux autres indices sont basés sur l'indice de qualité développé par Champoux et Sloterdijk (1985). Ils sont tous les deux calculés à partir de la même formule, soit:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{(\text{teneur})_i}{(\text{critère})_i}}{k}$$

Des indices supérieurs à 1 indiquent qu'en moyenne les concentrations des divers paramètres sont supérieures aux critères choisis. Seul les critères choisis diffèrent dans ces deux indices. Pour l'indice de qualité A, les critères sont ceux de non-acceptabilité de Vigneault et al (1978). De plus, pour le nickel, les cyanures et les TOX, les critères que nous avons utilisés dans le calcul de l'indice A sont respectivement 55 ppm (Swiss et al., 1982), 0,25 ppm (IJC, 1982) et 20 ppm tel qu'établi au chapitre 8.

Afin de comparer les résultats obtenus avec l'indice de qualité A, une autre série de critères a été employée pour le calcul de l'indice B. Les valeurs du seuil d'effet minimum ("lowest effect level") de Persaud et al. (1989) ont été utilisées. Elles correspondent aux teneurs où apparaissent un effet toxique pour les organismes.

Tableau 14 Moyenne et écart-type des différents indices de qualité calculés par zone et secteur.

Zone ou secteur	H.et G./COT* moyenne x 10 <sup>-4</sup> (écart-type)	Indice de qualité A**	Indice de qualité B***
Zone 1	<u>307,3</u> (309,7)	<u>1,45</u> (1,63)	<u>3,03</u> (3,47)
Zone 2	<u>610,8</u> (1198,2)	<u>1,16</u> (0,51)	<u>2,33</u> (0,81)
Zone 3	<u>477,5</u> (263,1)	0,50 (0,19)	<u>1,04</u> (0,45)
Zone 4	<u>319,5</u> (33,1)	0,77 (0,56)	<u>1,26</u> (0,63)
Zone 5	<u>430,7</u> (291,0)	0,46 (0,14)	<u>1,02</u> (0,35)
Zone 6	194,6 (102,1)	0,28 (0,11)	0,53 (0,18)
Zone 7	<u>435,6</u> (70,4)	0,20 (0,04)	0,35 (0,14)
Zone 8	<u>593,4</u> (212,8)	0,28 (0,11)	0,55 (0,17)
Secteur 1	<u>231,6</u> (349,3)	0,26 (0,13)	0,58 (0,35)
Secteur 2	<u>562,2</u> (608,1)	0,35 (0,25)	0,89 (0,78)
Secteur 3	144,4	0,31	0,55
Secteur 4	<u>318,3</u> (265,9)	0,38 (0,05)	0,92 (0,31)
Secteur 5	<u>250,2</u> (167,5)	0,34 (0,14)	0,93 (0,74)
Port de Québec	<u>397,2</u> (518,8)	0,68 (0,87)	<u>1,44</u> (1,83)

\* rapport des huiles et graisses minérales sur le carbone organique total

\*\* calculé d'après les critères de Vigneault et al (1978)

\*\*\* calculé d'après les objectifs de Persaud et al (1989)

— indique contamination supérieure aux critères choisis

Dans l'ensemble, les valeurs du seuil d'effet minimum de Persaud et al (1989) se rapprochent des critères de non-acceptabilité de Vigneault et al (1978). Ils sont cependant plus sévères que ceux utilisés pour le calcul de l'indice A. Par conséquent, l'indice de qualité B montre plus fréquemment des résultats supérieurs à 1. Le tableau 14 présente les valeurs des différents indices calculés pour tous les échantillons alors que la figure no. 16 illustre les indices de qualité A obtenus à chaque station.

L'interprétation des résultats de ces indices de qualité doit cependant être fait avec discernement. En effet, ces indices intègrent les concentrations et les critères de plusieurs paramètres pour obtenir une seule valeur. Bien que significatives, les valeurs de cet indice comportent une certaine normalisation des résultats ayant servi à son calcul et peuvent ainsi masquer certaines anomalies importantes.

De plus, malgré la disponibilité de critères correspondants, les résultats concernant les BPC et les HAP n'ont pas été utilisés lors du calcul des indices A et B. Ceci s'explique par le nombre restreint d'échantillons analysés. En effet, seulement 35 échantillons ont été analysés pour les paramètres organiques fins comparativement à environ 175 pour les paramètres inorganiques et organiques globaux.

#### 8.3.1 Vue d'ensemble

Le rapport H.G.m/COT moyen pour l'ensemble du port de Québec est 2 fois supérieur au critère établi à  $200 \times 10^{-4}$  pour cet indice. Ainsi, ce résultat montre l'existence d'une pollution par les hydrocarbures pétroliers dans les sédiments du port de Québec.

L'indice de qualité A moyen est, pour l'ensemble du port de Québec, inférieur à 1 et indique qu'en moyenne, les concentrations des divers paramètres sont inférieures aux critères de Vigneault et al (1978).

Cependant, l'indice de qualité B moyen pour l'ensemble du port de Québec est supérieur à 1 et indique qu'en moyenne, les paramètres ont des concentrations supérieures aux critères de Persaud et al (1989), indiquant qu'en moyenne des effets sur la faune aquatique sont susceptibles de se produire.

#### 8.3.2 Zones et secteurs

Dans la majorité des cas, le rapport H. et G./COT moyen calculé pour chaque zone et secteur est supérieur au seuil établi. La zone 6 montre une valeur à peine inférieure au

critère établi alors que le seul échantillon analysé du secteur 3 présente un résultat acceptable. Par conséquent, les sédiments du port de Québec révèlent une pollution pétrolière généralisée.

L'indice de qualité A moyen est supérieur à 1 pour les zones 1 et 2. Ceci indique que les concentrations moyennes des différents paramètres analysés sont généralement supérieures aux critères de non-acceptabilité de Vigneault et al. (1978) dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et dans le Bassin Louise. Pour les autres zones et secteurs, l'indice calculé est inférieur à 1. La figure 16 présente les indices de qualité A pour chacune des stations échantillonnées.

L'indice de qualité B moyen est supérieur à 1 pour les zones 1, 2, 3, 4 et 5. Ces zones montrent donc des concentrations moyennes généralement supérieures aux critères suggérés par Persaud et al. (1989). Ces zones correspondent à l'embouchure de la rivière Saint-Charles, au Bassin Louise, aux chantiers M.I.L. Davie, au quai de Lévis et au quai Ultramar.

## 8.4 ANALYSES STATISTIQUES

Cette section présente les résultats des différentes analyses statistiques réalisées sur l'ensemble des données et sur certaines zones précises. Elle vise essentiellement à mettre en lumière les différentes relations inter-stations et inter-paramètres existantes dans les matrices données.

### 8.4.1 Corrélation entre les paramètres

#### - Paramètres granulométriques et paramètres chimiques

Le tableau no 15 présente la matrice des corrélations entre les paramètres granulométriques et les paramètres chimiques. Le pourcentage de silt et argile est fortement lié avec la concentration en chrome et faiblement lié positivement avec la concentration en huiles et graisses minérales et totales. La corrélation avec les huiles et graisses est plus forte et devient négative lorsqu'on utilise le pourcentage de solide qui est lui-même inversement proportionnel au pourcentage de silt et argile. De plus en utilisant le pourcentage de solides, une corrélation négative moyenne s'établit avec la concentration en mercure.

Fait intéressant à noter, les deux indices de qualité calculés (indice A et indice B) sont liés de façon significative au pourcentage de solide. Ceci indique que plus le contenu en solides par rapport au contenu en liquide (eau) dans le sédiment est grand, plus ce sédiment a des chances d'être contaminé par les paramètres analysés.

#### - Paramètres chimiques entre eux

Le tableau no 16 présente les résultats de l'analyse factorielle en composantes principales en ce qui a trait à la corrélation entre les paramètres chimiques. Voici les différents paramètres qui sont corrélés ( $R \geq .5$ ):

- |      |                        |
|------|------------------------|
| - Hg | - C.O.T (0.55)         |
|      | - H. et G. min. (0.54) |
|      | - Pb (0.51)            |
| - As | - Zn (0.75)            |
|      | - Cu (0.61)            |
|      | - Pb (0.50)            |
| - Cd | - Zn (0.54)            |
| - Cr | - H. et G. min. (0.56) |

Tableau 15 Matrice des corrélations entre les paramètres chimiques et les paramètres granulométriques.

Paramètres granulométriques	% Silt-Argile	% Sable	% Solides	% Humidité
% Silt-Argile	1.00			
% Sable	-0.93	1.00		
% Solides	-0.69	0.62	1.00	
% Humidité	0.53	-0.56	-0.69	1.00

Paramètres chimiques

Hg	0.43	-0.46	-0.53	0.44
As	0.25	-0.26	-0.28	0.34
Cd	0.10	-0.15	-0.10	0.08
Cr	0.80	-0.77	-0.72	0.54
Cu	0.18	-0.19	-0.24	0.20
Ni	0.13	-0.12	-0.16	0.13
Pb	0.28	-0.32	-0.37	0.26
Zn	0.09	-0.14	-0.30	0.36
CN	0.03	-0.03	-0.07	0.06
COT	0.33	-0.38	-0.68	0.59
HGt	0.50	-0.48	-0.63	0.48
HGm	0.58	-0.57	-0.67	0.51
TOX	0.06	-0.10	-0.24	0.18
HGm/COT	0.12	-0.11	-0.05	0.02
INDICE A	0.25	-0.29	-0.44	0.39
INDICE B	0.30	-0.34	-0.46	0.41

**■** : Corrélation supérieur à 0.5.

**■** : Significatif à un intervalle de confiance de 5%.

Tableau 16 Matrice des corrélations entre les paramètres chimiques.

Variables	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Hg	1.000						
As	0.445	1.000					
Cd	0.228	0.401	1.000				
Cr	0.386	0.185	0.073	1.000			
Cu	0.182	0.611	0.491	0.102	1.000		
Ni	0.077	0.136	0.227	0.102	0.441	1.000	
Pb	0.513	0.505	0.125	0.262	0.263	0.118	1.000
Zn	0.458	0.752	0.543	0.109	0.761	0.330	0.318
CN	-0.021	0.023	-0.033	0.115	-0.011	0.022	0.007
COT	0.554	0.189	0.138	0.318	0.137	0.150	0.369
H et G tot	0.406	0.159	0.085	0.482	0.122	0.195	0.322
H et G min	0.549	0.302	0.142	0.563	0.178	0.185	0.501
TOX	0.270	0.191	0.060	0.063	0.065	0.008	0.288

(Suite...)

Variables	Zn	CN	COT	H et G tot	H et G min	TOX
Zn	1.000					
CN	-0.006	1.000				
COT	0.384	0.066	1.000			
H et G tot	0.208	0.033	0.469	1.000		
H et G min	0.291	0.035	0.559	0.858	1.000	
TOX	0.158	-0.015	0.411	0.109	0.199	1.000

■ : Corrélation supérieur à 0.5.

■ : Significatif à un intervalle de confiance de 5%.

- Cu	- Zn (0.76)
	- As (0.61)
- Pb	- Hg (0.51)
	- As (0.50)
	- H et G. min. (0.50)
- Zn	- Cu (0.76)
	- As (0.75)
	- Cd (0.54)
- C.O.T.	- H. et G. min. (0.55)
	- Hg (0.55)
- H. et G. tot.	- H. et G. min. (0.85)
- H. et G. min.	- H. et G. tot. (0.85)
	- Cr (0.56)
	- C.O.T (0.55)
	- Hg (0.54)
	- Pb (0.50)

Les plus fortes corrélations se situent au niveau du groupement zinc-cuivre, zinc-arsenic et cuivre-arsenic. Les huiles et graisses minérales sont corrélées positivement avec le carbone organique total, le mercure et le plomb. De même, les regroupements suivants sont corrélés: plomb-mercure, cadmium-zinc, carbone organique total-mercure.

Les TOX et les cyanures ne sont pas corrélés de façon très significatives avec aucun des paramètres. Il existe toutefois un lien entre le carbone organique total et les TOX ( $R=0.41$ ).

#### 8.4.2 Dendrogramme inter-paramètres

L'analyse factorielle en composantes principales a permis de produire des dendrogrammes regroupant les différents paramètres. Cette analyse fut effectuée d'abord à partir des moyennes des différents paramètres pour chacune des zones et des secteurs, puis à partir des paramètres individuels pour chacun des échantillons. Les figures 17 et 18 illustrent la similitude entre les résultats.

Dans les deux cas le regroupement hiérarchique est presque identique. Les regroupements suivants apparaissent nettement:

- Hg, Cn, Cd, As, C.O.T
- Pb, Cu, Cr, Ni, TOX

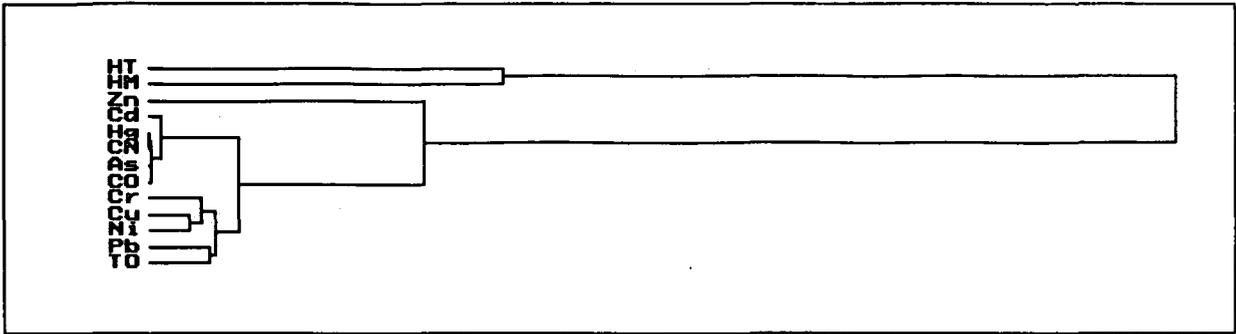


Figure 17 Dendrogramme des paramètres individuels pour tous les échantillons .

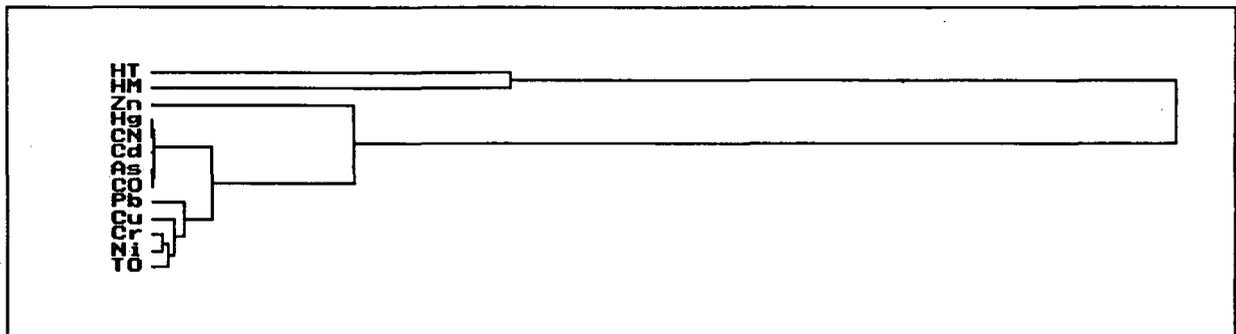


Figure 18 Dendrogramme des paramètres moyens par zones et secteurs

Les paramètres zinc et huiles et graisses sont les derniers à se regrouper et semblent donc se comporter de façon relativement indépendante.

Il faut noter ici les différences fondamentales entre les regroupements issus d'une analyse factorielle et les regroupements établis à partir de la matrice de corrélations. L'élaboration des dendrogrammes fait appel à tous les paramètres à la fois alors que l'analyse de corrélation linéaire fait appel à un seul couple de données à la fois. Ainsi dans une analyse de corrélation, le fait que les paramètres A et B sont corrélés positivement avec un paramètre commun C n'implique pas nécessairement que ces 2 paramètres soient corrélés ensemble. Le regroupement de plusieurs paramètres ensemble ne peut donc être fait que par l'analyse factorielle. Toutefois, l'algorithme de calcul tend à regrouper prioritairement les paramètres de faible amplitude (concentration).

#### 8.4.3 Correspondance et dendrogramme inter-zones

Une analyse factorielle de correspondance a été réalisée sur les concentrations moyennes des différents paramètres pour chacune des zones et des secteurs. Les deux premiers axes retrouvés expliquent à eux seuls 77% de la variance des résultats. La figure no 19 présente les représentations graphiques des points paramètres et des points zones sur ces deux axes majeurs.

L'ensemble des points peut se subdiviser en trois regroupements soit:

##### - Contamination forte

Zone/secteurs: Z1 et Z2

<u>Paramètre</u>	<u>Concentration</u>
As	forte
Zn	forte
COT	forte
Cd	forte
Pb	forte
Cu	forte
TOX	forte
Hg	forte
Cr	forte
Ni	forte
H.et G. min	forte
H.et G. cot	forte

- Contamination moyenne

Zone/secteurs: Z3, Z4, Z5 et S4

<u>Paramètre</u>	<u>Concentration</u>
As	forte
Zn	moyenne
Cu	moyenne
Cd	moyenne
Cr	moyenne
Pb	moyenne
C.O.T.	moyenne
Ni	moyenne
H.et G.min.	moyenne
H.et G.tot.	moyenne
Hg	moyenne

- Contamination faible

Zone/secteur: Z6, Z7, Z8, S1, S2, S3 et S5

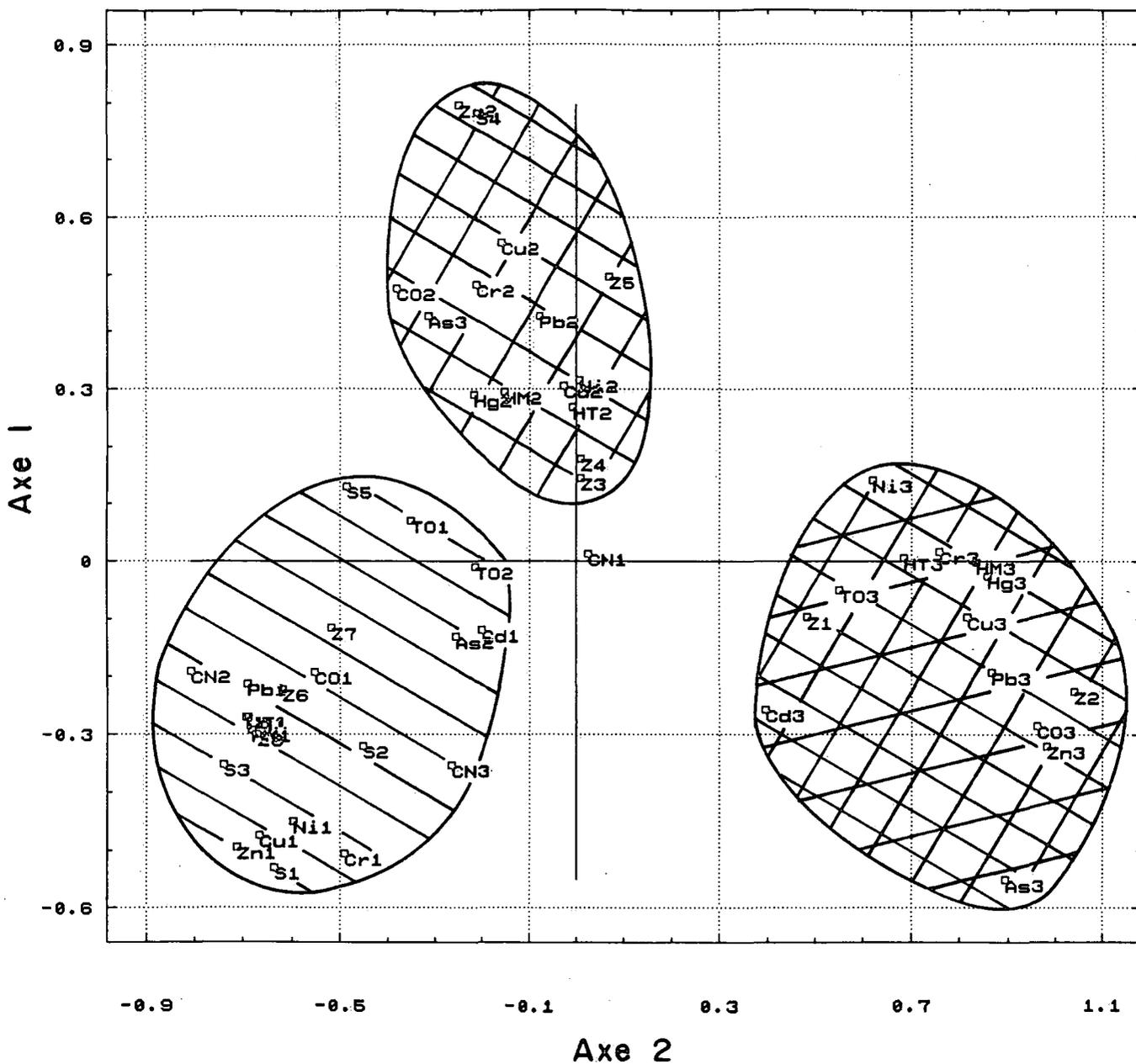
<u>Paramètres</u>	<u>Concentration</u>
Cn	moyenne
TOX	moyenne
As	moyenne
TOX	faible
COT	faible
Pb	faible
H.et G. min.	faible
H.et G. tot.	faible
Cu	faible
Ni	faible
Zn	faible
Cu	faible

L'analyse factorielle en composantes principales a permis de faire un regroupement hiérarchique des zones et secteurs. Ce regroupement est représenté par un dendrogramme pour lequel on a utilisé la méthode des "sommés de carrés incrémentés".

La figure no 20 présente le résultat de ce regroupement. Si on coupe le dendrogramme près du sommet des regroupements (ligne AB), on obtient les mêmes regroupements de zones que ceux identifiés avec l'analyse factorielle des correspondances (Figure 19). Comme dans le regroupement des paramètres, on peut remarquer que les premiers regroupements (partie inférieure) se produisent sur les zones les moins contaminées, une faible contamination permettant un meilleur regroupement qu'une forte contamination caractérisée par des concentrations parfois très différentes d'un paramètre à l'autre.

Figure 19

Représentation simultanée des correspondances entre les zones et secteurs et les paramètres de contamination.



Z 2 : Zone 2  
 Cd 1 : Concentration en cadmium faible  
 Cd 2 : Concentration en cadmium moyenne  
 Cd 3 : Concentration en cadmium forte

 Contamination faible  
 Contamination moyenne  
 Contamination forte

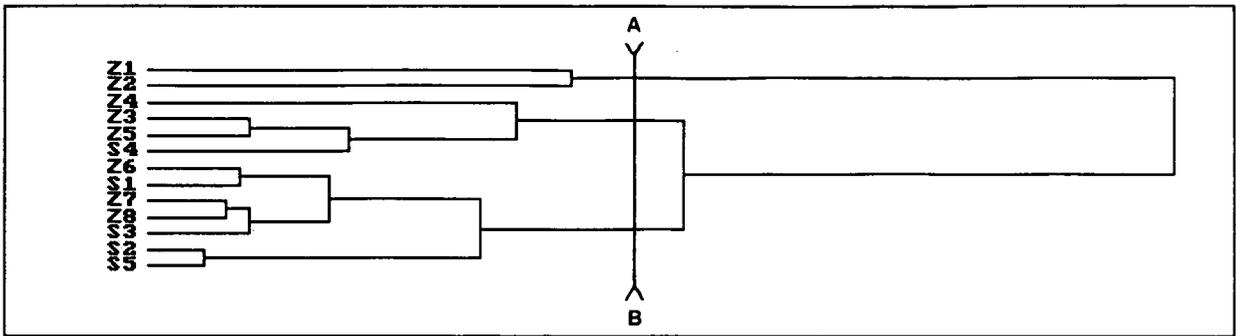


Figure 20 Dendrogramme des zones et secteurs .

#### 8.4.4 Dendrogramme inter-échantillons

La figure no 21 présente un dendrogramme regroupant tous les échantillons analysés. Ce dendrogramme provient de l'analyse factorielle en composantes principales des analyses chimiques de tous les échantillons.

Si on recoupe le dendrogramme au niveau AB on obtient quatre regroupements qui correspondent au niveau de contamination suivant:

- niveau très contaminé: échantillons 4-4.1 et 5-4.2;
- niveau contaminé: échantillons provenant presque'exclusivement des zones 1 et 2;
- niveau moyennement contaminé: échantillons provenant de toutes les zones;
- niveau faiblement contaminé: échantillons provenant surtout des zones 6, 7, 8 et du secteur 5.

Ce dendrogramme démontre avec toute l'objectivité de la méthode que les facteurs de contamination des zones 1 et 2 présentent de fortes similtudes. Les sources de contamination responsables de ce patron seraient probablement des sources communes et/ou du même type.

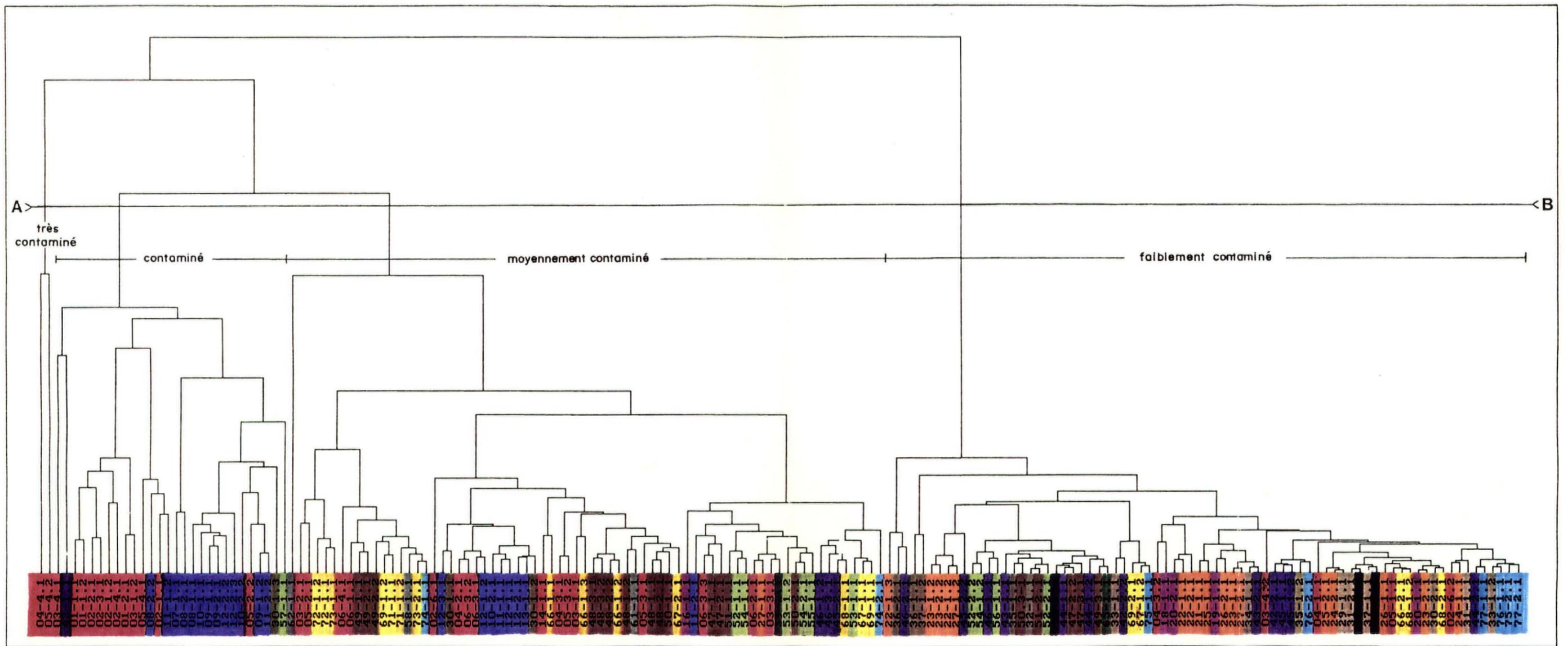
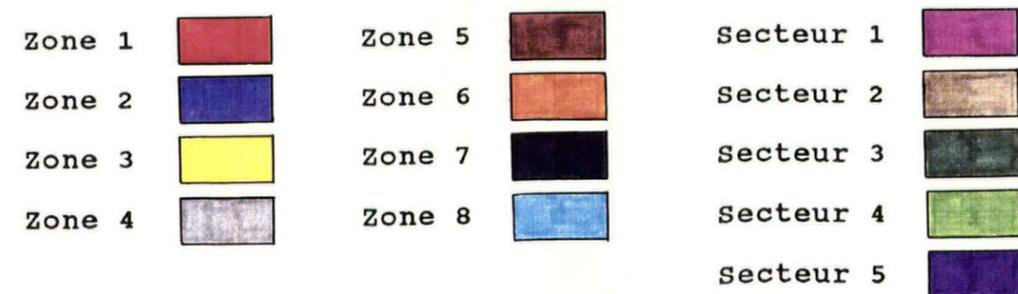


Figure 21 Dendrogramme de tous les échantillons.



## 8.5 PARAMETRES ORGANIQUES FINS

Tel que mentionné à la section 6.4.3, les analyses organiques fines ont été faites sur les sédiments des stations qui répondaient aux critères suivants:

- une bonne représentativité de toutes les zones et secteurs;
- l'importance relative des résultats des paramètres globaux.

Au total 35 échantillons ont fait l'objet d'analyses organiques fines.

Les paramètres traités dans cette section sont les hydrocarbures aliphatiques (H. Ali.), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les pesticides organo-chlorés (OC) et les biphéniles polychlorés (BPC).

Le tableau no 11 présente les résultats des concentrations totales tels que calculés à partir des résultats bruts présentés à l'annexe 6.

Le tableau 17 résume les moyennes et les écarts-types obtenus pour l'ensemble du port de Québec, pour les zones et les secteurs où ces statistiques pouvaient se calculer. L'annexe G présente les résultats détaillés des analyses organiques fines.

### 8.5.1 Vue d'ensemble du port de Québec

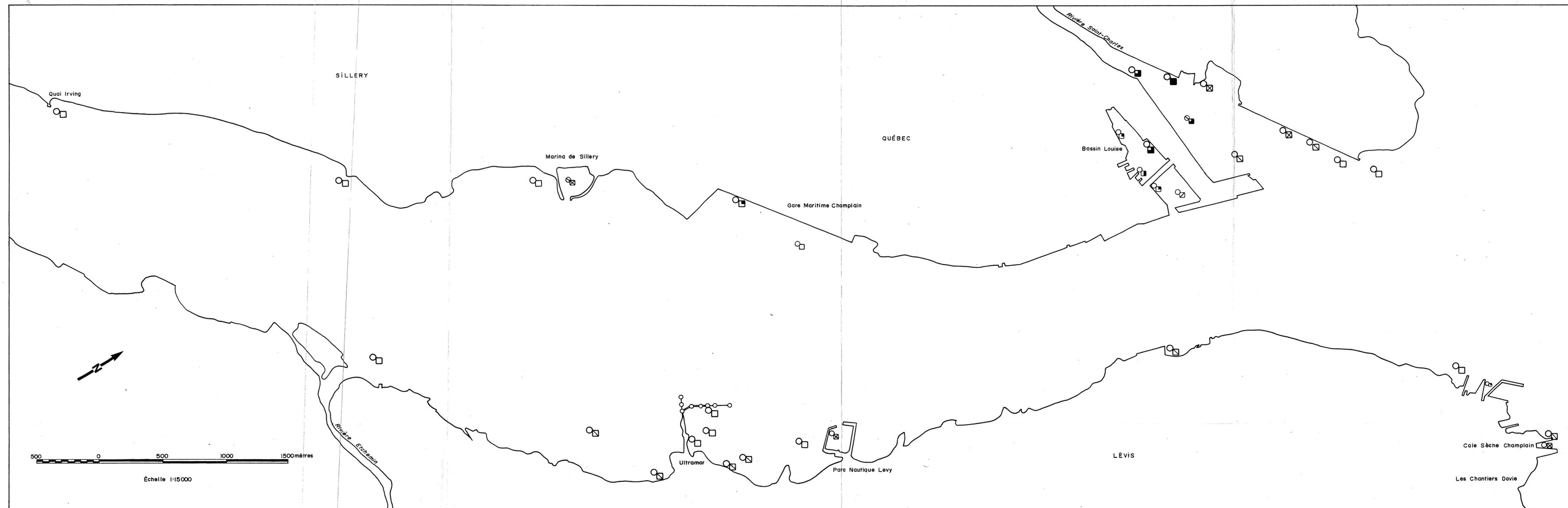
Sur l'ensemble du port, le paramètre suivant montre des teneurs moyennes supérieures au critère de non-acceptabilité:

- HAP totaux: La teneur moyenne est légèrement supérieure (fig 23) au critère de non-acceptabilité de 2.5 ppm. Les plus fortes teneurs se retrouvent dans le bassin Louise et dans la rivière Saint-Charles. Le paramètre suivant montre des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité:
- BPC totaux: La teneur moyenne est 1,5 fois supérieure (Fig.22) au critère d'acceptabilité. Cependant, cette forte valeur moyenne est principalement causée par des teneurs très élevées de BPC totaux dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et dans le bassin Louise.

Tableau no 17: Moyenne et écart type des paramètres organiques fins par zone et par secteur.

Moyenne (écart-type)	# données pr cette région	H. Ali. tot.	HAP tot.	OC.tot.	BPC tot.
Zone 1	7	15,27 (14,45)	<u>3,50</u> ( 5,48)	0,00147 (0,00276)	<u>0,2000</u> (0,22)
Zone 2	5	10,58 ( 6,25)	<u>12,96</u> (20,28)	0,00037 (0,00004)	<u>0,1345</u> (0,1294)
Zone 3	3	6,71 ( 1,25)	1,44 ( 0,74)	0,00037 (0,00007)	<u>0,0550</u> (0,0316)
Zone 4	1	5,65	0,76	0,00037	0,0320
Zone 5	6	6,87 ( 1,79)	1,26 ( 0,83)	0,00035 (0,00002)	0,0177 (0,0096)
Zone 6	2	6,48 ( 3,96)	0,31 ( 0,11)	0,00040 (0,00006)	0,0476 (0,0626)
Zone 7	1	3,23	0,57	0,00041	0,0118
Zone 8	2	3,11 ( 2,72)	0,85 ( 1,13)	0,00045 (0,00000)	0,0125 (0,0049)
Secteur 1	0				
Secteur 2	3	4,00 ( 3,16)	1,00 ( 0,77)	0,00243 (0,00260)	0,0285 (0,0364)
Secteur 3	1	4,43	0,23	0,00037	0,0079
Secteur 4	2	4,19 ( 1,44)	1,72 ( 0,74)	0,00037 (0,00006)	0,0429 (0,0398)
Secteur 5	2	3,96 ( 2,93)	0,54 ( 0,19)	0,00069 (0,00045)	0,0170 (0,0156)
Port de Québec	35	8,06 ( 7,9 )	<u>3,22</u> ( 8,4 )	0,00079 (0,00148)	<u>0,0772</u> (0,1277)

— supérieur au critère d'acceptabilité  
 — supérieur au critère de non acceptabilité



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no. 22

Concentrations en BPC totaux et en pesticides totaux des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en BPC totaux (mg/kg)

- < 0,020
- ▣ 0,020 - 0,049
- ⊠ 0,050 - 0,074
- ▤ 0,075 - 0,099
- 0,10 - 0,19
- 0,20 - 0,39
- > 0,40

Critères de qualité utilisés :

Limite d'acceptabilité : 0,05  
 Limite de non acceptabilité : 0,10

- □ — surface
- □ — mi-profondeur
- □ — profondeur

Concentration en pesticides totaux (mg/kg)

- < 0,005
- ⊖ 0,005 - 0,099
- ⊗ 0,01 - 0,019
- ⊙ 0,02 - 0,049
- 0,05 - 0,09
- 0,10 - 0,19
- > 0,20

Critère de qualité utilisé :

Limite de non acceptabilité : 0,05



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no.23

Concentrations en HAP totaux et en hydrocarbures aliphatiques totaux des sédiments prélevés en 1989.

Concentration en HAP totaux (mg/kg)

- < 1,25
- ▣ 1,25 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- > 7,5

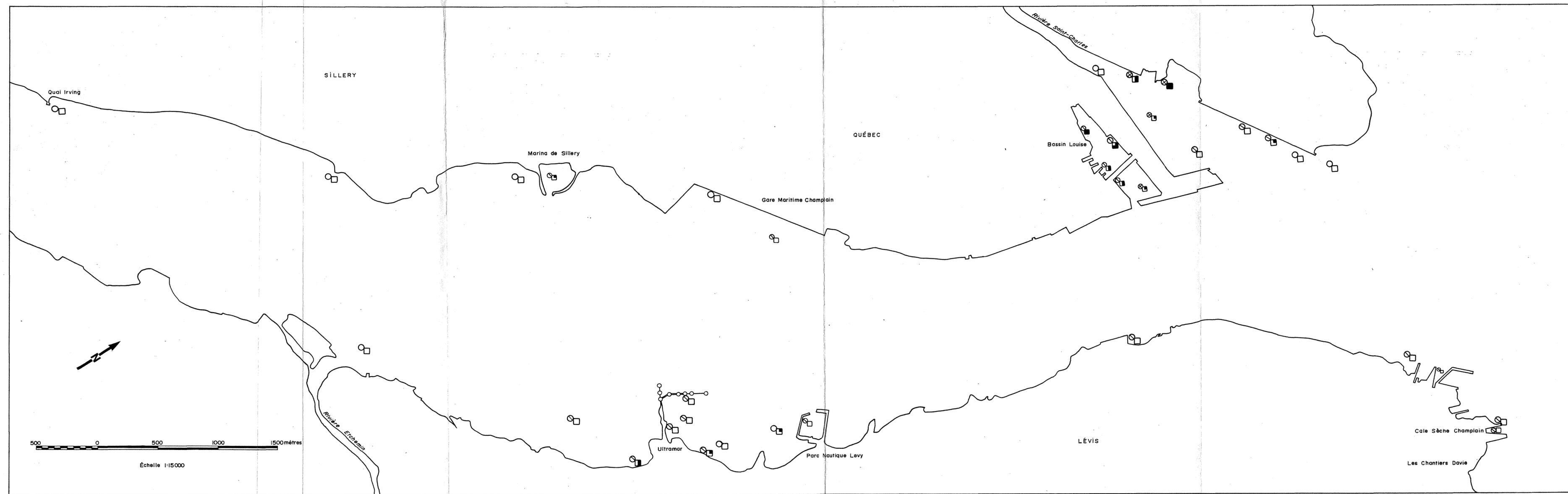
Critère de qualité utilisé :  
Limite de non acceptabilité: 2,5

Concentration en hydrocarbures aliphatiques totaux (mg/kg)

- < 5
- ⊙ 5 - 9,99
- ⊗ 10 - 70
- > 70

Critère de qualité utilisé :  
Limite de non acceptabilité: 70

- □ — surface
- □ — mi-profondeur
- □ — profondeur



### 8.5.2 Zones et secteurs

Les paramètres suivants, tels que résumés dans le tableau no 17, montrent des teneurs moyennes supérieures aux critères de non-acceptabilité:

- BPC totaux: Les zones 1 et 2 présentent, en ordre décroissant, les plus fortes teneurs moyennes. Dans la zone 1, les sédiments contaminés se regroupent seulement dans la partie amont de l'estuaire de la rivière Saint-Charles. Le bassin Louise intérieur exhibe une contamination généralisée.

-HAP totaux: Les zones 2 et 1 montrent, en ordre décroissant les plus fortes teneurs moyennes. La contamination dans le bassin Louise est plutôt généralisée alors que, dans la zone 1, seule la station 2.3.1 présente des teneurs trop élevées. On doit noter que la station 8.2.1 dans la zone 2 contient 49,2 mg/kg de HAP totaux dont la majorité (33,5 mg/kg) est constitué de fluoranthène (voir annexe G). Cependant, le fluoranthène n'est pas considéré comme cancérigène (Conseil National de Recherches du Canada, 1984). De même, à la station 2.3.1, le pyrène (10,6 mg/kg) est le principal constituant des HAP totaux (15,8 mg/kg). Le pyrène également n'est pas considéré comme cancérigène (Conseil National de Recherches du Canada, 1984).

Le paramètre suivant montre des teneurs moyennes supérieures au critère d'acceptabilité:

- BPC totaux: La zone 3, soit les chantiers M.I.L. Davie, montre une teneur moyenne légèrement supérieure au critère d'acceptabilité. Ces fortes teneurs sont situées dans les voies d'accès aux cales sèches de la compagnie.

Bien que les teneurs en hydrocarbures aliphatiques demeurent inférieures au critère, nous avons calculé l'indice des carbones préférentiels (ICP). Cet indice est couramment utilisé pour mettre en évidence la prédominance des hydrocarbures aliphatiques impairs (Colombo et al., 1989) et ainsi déterminer l'origine des hydrocarbures.

Il est calculé selon la formule suivante:

$$\text{ICP} = 2(\text{C27} + \text{C29}) / (\text{C26} + 2 \times \text{C28} + \text{C30})$$

où C27 est la concentration en C27 dans l'échantillon.

Cet indice devrait montrer des valeurs d'environ 1 pour les hydrocarbures d'origine pétrogénique alors que les sédiments d'origine naturelle et les plantes vasculaires donnent des valeurs d'ICP variant entre 3 et 6 (Colombo et al., 1989).

En appliquant cet indice aux sédiments du port de Québec, on se rend compte que les hydrocarbures aliphatiques retrouvés dans les sédiments sont d'origine pétrogénique pour 32 des 35 échantillons. En effet, les valeurs d'ICP calculées pour ces échantillons varient entre 1,0 et 2,4. Seuls trois échantillons montrent des valeurs supérieures à 3.

### 8.5.3 Variations verticales

Sur 35 échantillons analysés pour les paramètres organiques fins, seulement dix (10) ont été prélevés en profondeur. Cependant, aucune station n'ayant fait l'objet d'un échantillonnage simultané en surface et en profondeur, aucune conclusion ne peut être tirée sur les variations verticales de ces paramètres.

Dans tous les échantillons profonds récoltés, les concentrations en pesticides totaux et en hydrocarbures aliphatiques totaux sont toujours faibles. Les concentrations en BPC totaux dans les sédiments profonds dépassent le seuil d'acceptabilité dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, le bassin Louise et aux chantiers MIL Davie de Lauzon. Quant aux teneurs en HAP totaux des sédiments situés sous la surface, ils dépassent le critère de non-acceptabilité en 3 endroits dans le bassin Louise et à un seul endroit en amont du quai d'Ultramar. En plusieurs autres endroits incluant les zones précédentes, la marina de Sillery et la partie aval du quai d'Ultramar, les teneurs en HAP totaux sont légèrement inférieures à la limite de non-acceptabilité (2,5 mg/kg).

## 8.6 SYNTHÈSE

Les résultats des analyses chimiques ont permis de démontrer que les sédiments du port de Québec sont contaminés par différents polluants organiques et inorganiques. La figure 24 présente la synthèse des stations dont les concentrations de différents paramètres dépassent les critères de non-acceptabilité. Les principaux polluants rencontrés dans l'ensemble du port sont le zinc et le cuivre avec des concentrations moyennes supérieures aux critères de non-acceptabilité. De plus, les critères d'acceptabilité sont dépassés par les teneurs moyennes en plomb, en cyanures, en carbone organique total et en huiles et graisses totales.

Au niveau des stations, les plus fortes teneurs individuelles sont principalement regroupées dans les zones 1 et 2. Les sédiments de la zone 1 sont fortement contaminés par le zinc, le cuivre, le nickel et les T.O.X. De même, les sédiments de la zone 2 sont fortement contaminés par le plomb, le zinc, le cuivre, l'arsenic et les T.O.X.

Les valeurs des indices de qualité A et B indiquent que les zones 1 et 2 se démarquent nettement des autres zones et secteurs du port de Québec par leur niveau élevé de contamination. Bien que les indices de qualité A moyens des zones 3, 4 et 5 sont inférieurs au seuil de contamination, ces zones présentent toutefois des concentrations moyennes dépassant les critères d'acceptabilité pour le plomb, le zinc, le cuivre, les cyanures, le carbone organique total et les huiles et graisses totales. De même, les autres régions du port ont des indices de qualité A inférieurs à 1. Néanmoins, les teneurs moyennes en cyanures, en T.O.X., en plomb, en zinc, en cuivre et en carbone organique total peuvent parfois être supérieures aux critères d'acceptabilité dans certaines zones et certains secteurs.

Les analyses statistiques indiquent que les couples de paramètres zinc-cuivre, zinc-arsenic et cuivre-arsenic sont fortement reliées entre eux. De même, le pourcentage de solide et les indices de qualité A et B sont corrélés de façon significative. Les regroupements inter-zones et inter-échantillons indiquent que les sédiments contaminés se situent presque exclusivement dans les zones 1 et 2 et que les sources de contamination de ces deux zones seraient du même type.

En ce qui concerne les paramètres organiques fins dans les sédiments du port, les HAP et les BPC constituent les seuls composés qui présentent des concentrations supérieures aux différents critères. Encore une fois, les zones 1 et 2 présentent les plus fortes teneurs moyennes et individuelles sur tout le territoire étudié. Enfin, bien que les teneurs en hydrocarbures aliphatiques demeurent inférieures au critère choisi, la valeur de l'indice des carbones préférentiels indique qu'ils sont d'origine pétrogénique.

CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC.

Figure no. 24

Carte synthèse des dépassements des critères de qualité des sédiments prélevés en 1989

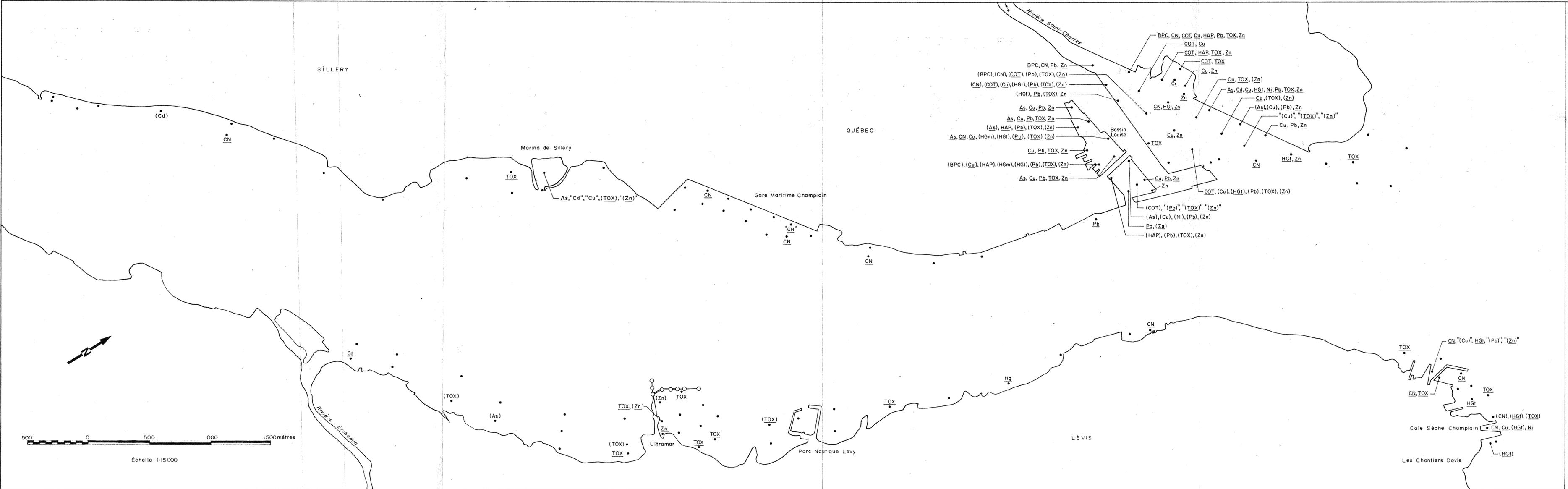
Critères de non acceptabilité utilisés (mg/kg) :

As	6
BPC	0,1
Cd	8
CN	0,25
COT	5
Cr	90
Cu	60
HAP	2,5
Hg	1,0
HGm	2000
HGf	2000
Ni	55
Pb	60
TOX	20
Zn	175

Les paramètres présentant des dépassements de critère et la couche de sédiments concernée sont indiqués selon la symbolique suivante :

- As : surface
- "As" : mi-profondeur
- (As) : profondeur

N.B. : La combinaison de 2 ou 3 symboles signifie des dépassements dans les couches correspondantes.



## 9. ORIGINES ET SOURCES

Les différents composés responsables de la contamination des sédiments du port de Québec ont des origines variées et proviennent de sources diverses dont certaines sont identifiables. Les figures no. 10, 11, 12, 15, 16, 22, 23 et 24 montrent la répartition géographique des stations contaminées. Voici les sources probables des contaminants des zones du port de Québec telles qu'elles nous apparaissent à partir de la documentation existante.

### 9.1 ZONE 1

Les déversements accidentels lors de la manutention et des transbordements de minerais aux quais 50, 51, 52 et 53 seraient une cause importante de contamination en zinc, en cuivre, en plomb, en nickel, en cadmium et en arsenic. La papeterie Daishowa (anciennement Reed) pourrait avoir contribué de façon significative à la contamination en zinc et en cuivre de l'estuaire de la rivière St-Charles avant son raccordement avec le réseau unitaire de la C.U.Q. Une analyse externe des sédiments de la rivière montre qu'ils contiennent environ 275 ppm de zinc et que l'apport en suspension de la rivière Saint-Charles serait aussi une source importante de la contamination en zinc de l'estuaire de la rivière St-Charles.

Le flottage de bois auquel s'adonnait l'ancienne papeterie Reed (Anglo Pulp) pourrait représenter une source importante de carbone organique total. D'ailleurs, la plupart des échantillons de cette zone montraient de fortes teneurs de débris ligneux telles qu'observées lors de l'échantillonnage. L'estuaire de la rivière St-Charles est également caractérisé par des fortes teneurs en carbone organique total et en halogènes organiques totaux, dues aux apports terrigènes de la rivière St-Charles. Le débordement, lors de fortes pluies, du réseau unitaire de la C.U.Q. constitue en soi une source importante de plomb, de carbone organique total et d'halogènes organiques totaux.

Les déversements accidentels lors des transbordements de produits chimiques organiques et de produits pétroliers au quai Intertank (quai no 50) et aux autres quais de l'estuaire sont des causes probables expliquant les fortes teneurs en halogènes organiques totaux et en huiles et graisses. L'ancienne rampe de lancement Morton et les activités qui y étaient reliées pourraient être à l'origine d'une partie importante de la contamination en BPC et en HAP contenus dans les sédiments de l'estuaire de la rivière St-Charles (Hamelin, 1987). De plus cette source pourrait expliquer les fortes

teneurs moyennes en halogènes organiques totaux.

#### 9.2 ZONE 2

Les déversements accidentels dus au transbordement de charbon entre les années 1890 et 1970 ont pu amener une contamination en zinc, en cuivre, en arsenic et probablement en mercure dans les sédiments de la zone 2. Les activités de l'ancien Arsenal, telle la coupe de métaux, pourraient être la cause de la contamination en zinc, en cuivre et en plomb. Les apports de débris organiques du fleuve Saint-Laurent s'accumulant surtout au printemps peuvent contribuer aux fortes teneurs en carbone organique total observées dans le bassin Louise extérieur. Les déversements accidentels de produits pétroliers peuvent également expliquer les fortes concentrations de carbone organique total, d'huiles et de graisses totales et de HAP dans les bassins intérieur et extérieur. Les fortes teneurs de BPC pourraient être reliées à la présence de la station électrique au quai no 4 près duquel se trouvent les concentrations maximales.

Cependant, il est important de noter qu'à cause de son confinement le bassin intérieur retient plus facilement les contaminants enfouis dans les sédiments que le bassin extérieur.

#### 9.3 ZONE 3

Les activités de la M.I.L. Davie sont la cause probable de diverses contaminations. Le décapage des coques de navires au jet de sable pourrait expliquer les fortes teneurs de cuivre puisque ce dernier était un ingrédient courant, par le passé, dans les peintures de coques de navires. Le graissage des rampes de lancement des navires serait la source principale de contamination en huiles et en graisses totales et en BPC dans cette zone. Toutefois, l'origine du nickel contenu dans les sédiments de cette zone demeure inconnue.

#### 9.4 ZONE 4

La présence, par le passé, de rampes de mise à l'eau de bateaux en amont et en aval du quai de Lévis peut expliquer la contamination en huiles et en graisses observée dans ce secteur. Des déversements mineurs de produits pétroliers peuvent aussi expliquer les fortes teneurs en huiles et en graisses totales de cette zone.

## 9.5 ZONE 5

Les contaminants de cette zone sont d'origine pétrogénique et leur présence serait reliée aux activités de la compagnie Ultramar. Les déversements accidentels de produits pétroliers expliquent les fortes teneurs en huiles et graisses totales et en HAP dans cette zone. Les effluents liquides de la compagnie Ultramar pourraient peut-être expliquer la contamination en zinc des sédiments.

## 9.6 AUTRES SOURCES PONCTUELLES

Les résultats montrent également l'existence de stations individuelles fortement contaminées. Ces contaminations peuvent s'expliquer par des sources ponctuelles de contaminants.

La marina de Sillery, représentée par trois échantillons à diverses profondeurs, montre de fortes teneurs en zinc, en cuivre, en plomb, en arsenic, en halogènes organiques totaux et en HAP totaux. L'origine de cette contamination est sûrement reliée aux activités des plaisanciers de la marina. Les fortes teneurs de cuivre contenues dans les peintures de coques de navires peuvent expliquer la contamination par ce métal. Les effluents municipaux situés en amont de la marina sont d'autres sources probables de contaminants qui peuvent sédimenter et s'accumuler à l'intérieur de la marina.

La figure 10 montre qu'une station située près de l'embouchure de la rivière Etchemin contient des teneurs en cadmium 5 fois supérieures au critère de non-acceptabilité de Vigneault et al. (1978). Une source ponctuelle inconnue originant de la rivière Etchemin explique probablement cette contamination.

La figure 10 montre qu'à la station 62.1, dans la zone 4, la teneur en cyanures est 12 fois supérieure au critère de non-acceptabilité. La source ponctuelle responsable de cette contamination demeure toutefois inconnue.

La figure 13 indique une forte concentration de chrome à la station 2.6 dans la zone 1. Les transbordements de boulettes de fer peuvent peut-être expliquer cette contamination.

La figure 22 montre une concentration en BPC totaux supérieurs au critère d'acceptabilité à la station 26.1 dans la zone 6. La manutention d'essence, d'huile lourde, d'huile à chauffage et d'huiles usées aux quais 107 et 108 pourraient expliquer cette contamination.

## 10. PRIORISATION DES ZONES D'INTERVENTION

Ce chapitre présente d'abord les différents éléments considérés dans la réflexion menant à la priorisation des zones d'intervention. Il présente ensuite les zones prioritaires sélectionnées et les volumes de sédiments contaminés sur lesquels porteront les interventions ayant comme objectif la restauration du site du port de Québec.

### 10.1 CRITERES DE PRIORISATION

Plusieurs critères touchant différents aspects de la problématique de la restauration ont été élaborés et évalués avant d'en arriver à la sélection de critères définitifs. Les différents aspects couverts par cette évaluation sont d'ordre environnemental et socio-économique. Les considérations d'ordre environnementale ayant mené à la sélection des critères ont eu préséance sur les aspects socio-économiques. Ceci afin de respecter l'objectif même du volet restauration qui est de nettoyer les sites fédéraux contaminés. Toutefois les aspects socio-économiques ont permis d'optimiser la faisabilité socio-économique de l'exercice de priorisation. Voici par ordre d'importance les différents critères de priorisation retenus:

#### - Indice de qualité A

Il est évident que pour prioriser les sites à décontaminer, il faut d'abord classer les sites par ordre de contamination décroissante afin de faire une sélection relative des zones. A cet effet, les différents indices (A et B) permettent de coter l'intensité de la contamination à chacune des stations et à chacune des zones. Ces indices bien qu'imparfaits, permettent de comparer la contamination "globale" d'un site par rapport à un autre. La sélection de l'indice (A ou B) importe peu en valeur relative car ils sont presque équivalents (coefficient de corrélation = .98, n=176). Pour fins de sélection, nous avons choisi l'indice A présenté à la figure 16.

#### - Potentiel de remise en circulation des contaminants

Ce critère est basé sur le principe qu'un sédiment contaminé susceptible d'être remis en circulation de façon périodique doit être priorisé par rapport à un sédiment contaminé stable. La remise en circulation engendre un déplacement des sédiments et de la contamination associée et un risque de relarguage de contaminants dans la phase aqueuse.

Les agents de remise en circulation considérés ici sont d'ordre hydrodynamique et sont reliés à des phénomènes

naturels (courants fluviaux, courants de marée, courants induits par les vagues) ou anthropogéniques (batillage et courant induit par le passage des navires). En plus des agents de transport, nous avons aussi considéré la nature même du sédiment, principalement la granulométrie et la cohésion.

- Utilisation actuelle et future

Ce critère est basé uniquement sur des considérations socio-économiques. Il permet de prioriser les zones où les utilisations actuelles et futures (prévues) sont incompatibles avec la présence de sédiments contaminés. Parmi les utilisations, citons entre autre les dragages d'entretien et les activités récréo-touristiques.

- Persistance de sources actives de contamination

La restauration du port de Québec permettra de nettoyer ce site fédéral de ses sédiments contaminés. Cependant il serait futile de nettoyer les fonds si les sources responsables de cette contamination demeurent actives après les interventions. Dans la plupart des cas, nous ne pouvons prédire exactement quand ces sources cesseront d'émettre des contaminants d'autant plus qu'il existe des sources ponctuelles facilement identifiables et des sources diffuses plus difficiles à évaluer. Toutefois nous pouvons relativiser chacune des zones entre elles quant à la persistance dans le futur des sources ponctuelles qui ont contribué à l'état de contamination actuelle. Plus cette persistance est élevée moins les interventions de restauration seront justifiés et priorisés.

## 10.2 SÉLECTION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION

Le tableau no 18 présente la quantification des critères de priorisation pour chacune des zones du port de québec ainsi que l'ordre de priorisation résultant de cette évaluation. Chacun des critères a été pondéré suivant son importance relative. L'indice de qualité représente une valeur de 10, le potentiel de remise en circulation une valeur de 8 et l'utilisation actuelle et future une valeur de 5.

La présence de source active a été pondérée sur 3 pour plusieurs raisons. D'abord les sources de contamination sont relativement mal connues de même que leur importance relative. Ensuite la diminution et/ou l'arrêt de celle-ci fait actuellement l'objet du plan d'assainissement municipal du ministère de l'Environnement du québec et du plan d'Action Saint-Laurent d'Environnement Canada dont les échéanciers à court terme pourraient varier. Nous avons donc convenu de quantifier ce critère à partir de notre connaissance des sources ponctuelles et diffuses en excluant les sources accidentelles.

### 10.2.1 Indice de qualité

Tel que décrit au chapitre 8, seules les zones 1 et 2 présentent une contamination assez importante et généralisée représentée par un indice de qualité moyen supérieur à 1. Les zones 3 et 5 viennent ensuite mais avec des indices plus de deux fois inférieurs aux indices des zones 1 et 2. La zone 4 possède un indice relativement haut. Cependant, cette valeur est causée par une forte anomalie en cyanures sur une des trois stations analysées.

### 10.2.2 Potentiel de remise en circulation

Le potentiel de remise en circulation est relativement élevé dans la zone 1 principalement à cause de l'agitation causée par le trafic maritime et la faible cohésion du matériel sédimentaire. Cette situation se retrouve mais à un degré moindre dans la zone 3 où les sédiments sont plus cohésifs. Bien que la nature des sédiments soit du même type que dans la zone 1, la zone 2 se retrouve au troisième rang du fait que son hydrodynamisme est relativement peu intense en particulier dans le bassin intérieur où les échanges via l'écluse sont limités.

Les zones 4 et 5 viennent ensuite dans l'ordre décroissant et sont caractérisés par des sédiments fins près de la rive qui sont soumis à des courants relativement faibles. La zone 7 et les secteurs 4 et 5 suivent ensuite. Leur potentiel de remise en suspension est moindre surtout en regard du fait que les sédiments sont plus grossiers.

Tableau 18. Priorisation des zones d'intervention du port de Québec.

	Indice de qualité A moyen (10)	Possibilité de remise en circulation (8)	Utilisation actuelle et future (5)	Présence de sources actives (3)	Total (26)	Rang		Superficie (m <sup>2</sup> )	Profondeur Minimale (cm)	Volume minimal (m <sup>3</sup> )
Zone 1	10.0	8.0	5.0	0.0	23.0	1		520000	22	114400
Zone 2	8.0	6.4	5.0	1.5	20.9	2	extérieur	70000	25	17500
Zone 4	5.3	4.8	2.0	3.0	15.1	3	intérieur	120000	21	25200
Zone 3	3.4	7.2	4.0	0.0	14.6	4				
Zone 8	1.9	2.4	5.0	2.3	11.6	5				
Secteur 4	2.6	4.0	2.5	1.5	10.6	6				
Secteur 2	2.4	3.2	2.5	2.3	10.4	7				
Zone 5	3.2	4.8	1.0	0.8	9.7	8				
Zone 7	1.4	4.0	1.0	3.0	9.4	9				
Zone 6	1.9	2.4	2.0	3.0	9.3	10				
Secteur 1	1.8	1.6	2.0	3.0	8.4	11				
Secteur 5	2.3	4.0	1.0	0.0	7.3	12				
Secteur 3	2.1	0.0	0.0	3.0	5.1	13				

Les secteurs 1, 2, 3 et la zone 6 sont caractérisés par un faible potentiel de remise en circulation des contaminants parce qu'ils sont caractérisés par des sédiments très grossiers ou par des affleurements rocheux.

#### 10.2.3 Utilisation actuelle et future

Les zones 1, 2 et 8 viennent au premier rang quant à l'importance de leur utilisation actuelle et future. La zone 1 est susceptible d'être draguée dans le futur. La zone 8 est visée par le projet d'extension du port de Québec. La zone 2 est actuellement utilisée à des fins de navigation de plaisance. L'ensemble de ces zones représente un pôle majeur du développement récréatif et touristique étant donné la proximité du quartier historique de Québec, des installations du Vieux-Port, de la marina et du centre nautique des battures de Beauport.

La zone 3 vient en second rang principalement en raison de la possibilité de dragage futur. Les secteurs 2 et 4 viennent ensuite dans l'ordre principalement à cause de la présence d'infrastructures reliées à la navigation de plaisance. Les zones 4 et 6 et le secteur 1 suivent dans cet ordre principalement en raison de la possibilité de dragage d'entretien parfois nécessaire. Les zones 5 et 7 sont caractérisées par un très faible risque d'incompatibilité entre les utilisations et la présence de sédiments contaminés alors que le secteur 3, à cause de la présence de roc, obtient la cote 0.

#### 10.2.4 Présences de sources actives

Les sources de contamination qui seront encore actives dans le futur sont localisées dans la zone 1 (apport de la rivière Saint-Charles), la zone 3 (activités inhérentes au chantier maritime), le secteur 5 (apport de la rivière Etchemin) et, à un moindre degré, la zone 5 (rejet d'eaux usées traitées d'Ultramar).

Les secteurs 2 et 4 sont caractérisés par certains émissaires encore actifs alors que la zone 8 est actuellement sous l'influence directe du diffuseur de Québec et des apports en provenance de la zone 1. La zone 2 suit dans l'ordre principalement à cause de l'activité maritime, la navigation de plaisance et les infrastructures récréo-touristiques.

Dans les autres cas, à l'exception de déversements accidentels, l'importance des sources de contamination dans le futur varierait de minime à négligeable. Nous avons considéré ici que le traitement des eaux et de la neige usée serait contrôlé dans un futur très rapproché.

### 10.3 ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION

Le tableau no 18 présente le résultat de la quantification des critères de sélection et le total correspondant pour chacune des zones et des secteurs. Il apparaît clairement sur ce tableau que les zones 1 et 2 respectivement l'estuaire de la rivière Saint-Charles et le bassin Louise devraient être priorités par rapport aux autres parties du port de Québec. Ces deux zones sont fortement contaminées. Elles sont constituées d'un matériel très organique facilement remis en suspension qui, à l'exception du bassin Louise intérieur, peut remettre en circulation certains contaminants. De plus ces deux zones sont vouées à une utilisation maritime et récréotouristique intensive. Les superficies des zones sont présentées sur le tableau 18. Les volumes minimaux de matériel contaminé ont été calculés à partir des résultats des analyses des échantillons en profondeur. Toutefois les techniques d'échantillonnage n'ont pas pu évaluer l'extension maximal de la contamination en profondeur.

La zone 4 située aux quais de Lévis se retrouve au 3e rang à cause d'une forte anomalie en cyanures et devrait faire l'objet de vérification. Quant à la zone 3 englobant les cales sèches du chantier M.I.L. Davie de Lauzon bien qu'elle soit plus faiblement contaminée que les zones 1 et 2 elle présente une contamination qui pourrait nécessiter une intervention dans le futur. Cependant elle ne devrait pas être priorisée à l'heure actuelle, l'indice de qualité étant de beaucoup meilleure que dans les deux zones fortement contaminées.

## 11. CONCLUSION

La caractérisation de la qualité des sédiments du port de Québec a permis de préciser la répartition spatiale de la contamination dans la couche superficielle des sédiments. Sur les huit zones et cinq secteurs caractérisés, deux zones sont fortement contaminées. Il s'agit de l'estuaire de la rivière Saint-Charles et du bassin Louise. Dans ces deux zones plusieurs contaminants dépassent les critères de non-acceptabilité utilisés pour le dragage. De plus, cette contamination couvre presque complètement la superficie de ces deux zones.

En dehors de ces deux zones, les fortes concentrations en contaminants sont très localisées et plusieurs stations s'avèrent soit très contaminés pour un seul paramètre ou soit légèrement contaminés pour plusieurs paramètres.

La priorisation des zones d'intervention a été fondée sur quatre critères de sélection: l'indice de qualité, le potentiel de remise en circulation des contaminants, l'utilisation actuelle et future et la persistance des sources actives de contamination. L'exercice de sélection des zones prioritaires d'intervention a mis en relief les deux zones les plus contaminées soit l'estuaire de la rivière Saint-Charles et le bassin Louise.

## 12. RECOMMANDATIONS

Pour faire suite à cette première étape de priorisation, nous recommandons les travaux suivants visant la poursuite de l'objectif de décontamination des sédiments du port de Québec.

- Mise en place de mesures correctives nécessaires pour arrêter sinon diminuer les apports locaux de substances toxiques.

Certains de ces apports nous apparaissent particulièrement dommageables à l'environnement aquatique et aux sédiments notamment:

- les déversements accidentels liés au transbordement de minerais, de produits chimiques et de produits pétroliers;
- les infiltrations de toutes sortes provenant d'anciennes zones remblayées avec des matériaux très contaminés comme les BPC;
- les apports liés à l'utilisation des cales sèches;
- les apports des tributaires comme la rivière Saint-Charles, la rivière Etchemin et la rivière Chaudière;
- les déversements de neige usée au fleuve.

Sans la mise en application de ces mesures, toute démarche ultérieure de décontamination serait vaine.

- Caractérisation détaillée des zones prioritaires

Cette caractérisation devra si possible adopter la même approche analytique que celle utilisée dans la présente étude. Toutefois certains paramètres géotechniques devraient être ajoutés afin d'effectuer un design optimal de la technique de restauration. Le plan d'échantillonnage devra être conçu de façon à déterminer précisément la profondeur de la contamination. Il devra être de type systématique et l'espacement entre les stations ne devrait pas être supérieure à 50 mètres.

- Elaboration d'un plan détaillé de décontamination des sédiments incluant la technique utilisée et analyse des impacts liée à sa réalisation.

Ce plan servira de devis de base à la réalisation des travaux de restauration et devra inclure toutes les mesures de mitigation nécessaire à la réduction des impacts négatifs.

### 13. BIBLIOGRAPHIE

- Aireautec-Solnier, 1985. **Caractérisation des eaux usées.** Rapport présenté à la C.U.Q., # vol 1.
- Aminot, A. et M. Chaussepied, 1983. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin.** CNEOX, Brest, France, 395 p.
- Anonyme, 1879-1886. **Quebec Harbour Commissioners' Reports.** Léger Brousseau (éd.), Québec.
- Anonyme, 1887-1894. **Quebec Harbour Commissioners' Reports.** Léger Brousseau (éd.), Québec.
- Anonyme, 1896-1909. **Quebec Harbour Commissioners' Reports.** Le Soleil (éd.), Québec.
- Anonyme, 1965. **Manuel du Port de Québec.** Bureau de l'Industrie et du Commerce de Québec Métropolitain Inc. (éd.), Québec, 167 p.
- Anonyme, 1973. **Le Bassin Louise: analyse et recommandations.** Rapport présenté au président de l'administration du Port de Québec par le Comité du Bassin Louise, 35 p.
- Anonyme, 1985a. **Guide pour l'examen environnemental préalable des projets de dragage et de génie maritime dans le Saint-Laurent.** Environnement Canada, région du Québec, EN 21-50/1985 F, 137 p.
- Anonyme, 1985b. **Compte rendu de l'atelier sur le dragage tenu à Québec, le 13 mars 1985.** Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Région du Québec, 139 p.
- Auclair, M.J., F. Leduc, C. Gonthier, C. Ayotte, 1988. **Plan d'action environnemental pour les installations fédérales de la zone du Port de Québec.** Préliminaire Environnement Canada, Conservation et Protection.
- Barrich, R.C. et Prohl F.G., 1987. **Hydrocarbon geochemistry of the Predget Sound Region - III Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in sediments, estuarine, Coastal and Shelf Science.** 25, 175-191.
- Boehm, P.D. et Farrington, J. W. 1984. **Aspects of the polycyclic aromatic hydrocarbon geochemistry of recent sediments in the Georges Bank region.** Environmental Science and Technology 18, 840-845.
- Béland et Demers inc, 1981. **Les substances toxiques dans le fleuve St-Laurent. Résumé.** Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada, 95 p.

- Boehm, P.D. et A.G. Requejo. 1986. **Overview of the Recent Sediment Hydrocarbon Geochemistry of Atlantic and Gulf Coast Outer Continental Shelf Environments.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, 23, 29-58.
- Campbell, P.G.L., A.G. Lewis, P.M. Chapman, A.A. Crowdec, W.K. Fletcher, B. Imber, S.N. Luoma, P.M. Stokes and M. Winfrey, 1988. **Biologically available metals in sediments.** NRCC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. Committee on Marine Analytical Chemistry of the NRCC Marine Analytical Chemistry Standard Program. National Research Council of Canada, 298 p.
- Camu, P., 1957. **Etude du port de Québec.** Direction de la géographie, Ministère des Mines et des relevés techniques, Ottawa, Etude géographique no. 17, 79 p.
- Centreau, 1973. **Fleuve Saint-Laurent: aspects physiques et sédimentologiques entre Cornwall et Varennes.** Université Laval (Québec), 138 p.
- Centreau, 1974 a. **Etude du fleuve Saint-Laurent Tronçon Varennes-Montmagny. Aspects physiques et sédimentologiques.** Université Laval (Québec), 266 p.
- Centreau, 1974 b. **Etude du fleuve Saint-Laurent: aspects physiques et sédimentologiques entre Varennes et Montmagny.** Tome 2, Annexe A, Université Laval (Québec).
- Centreau 1975. **Etude de la qualité des sédiments et suspension du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles.** Université Laval (Québec). Rapport No. CRE-75/14, 154 p. + annexes.
- Champoux, L. et H. Sloterdijk, 1985. **Etude de la qualité des sédiments du lac Saint-Louis 1984-1985.** Rapport technique no 1. Chimie et contamination.
- Columbo, J.C., E. Pelletier, C. Brochu, M. Khalil et J.A. Catoggio, 1989. **Determination of hydrocarbon sources using n-alkanes and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plata Estuary, Argentina.** Environmental Science & Technology, vol. 23, pp. 888-894.
- Comité aviseur des rejets en mer, 1976.
- Conseil National de Recherches du Canada, 1984. **Les hydrocarbures polycycliques aromatiques dans le milieu aquatique: formation, sources, devenir et effets sur le biote aquatique.** CNRC no 18982.

- C.P. Environnement Canada, 1988. **Plan d'action environnemental pour les installations fédérales de la zone du Port de Québec.** Rapport préliminaire non publié, 84 p. + annexes.
- Couillard, D., 1982. **Evaluation des teneurs en composés organochlorés dans le fleuve, l'estuaire et le golfe Saint-Laurent, Canada.** Environmental Pollution (series B), 3, pp. 239-270.
- Direction régionale des eaux intérieures, 1978. **Plan d'utilisation des matériaux dragués dans le fleuve Saint-Laurent. Annexe no 6.** Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 137 p.
- Eganhouse P.R., Simoneit B.R.T., Kaplan I.R., 1981. **Extractable organic matter in urban stormwaters runoff. 2. Molecular characterization.** Environ. Scien. Techn., 15, 315-326.
- Egar D.L., 1987. **Réflexions 1986-1987. Le rapport du Directeur.** Institut National de la Recherche sur les eaux, 19 p.
- EPA/Corps of Engineers Technical Committee on Criteria for dredged and fill material, 1977. **Ecological evaluation of proposed discharge of dredge material into ocean waters.** Environmental effects laboratory, U.S. Army Engineers Water Experiment Station. Vicksburg, Mississippi.
- Farrington, J.W., Tripp, B.W., 1977. **Hydrocarbons in Western North Atlantic surface sediments,** Geochemistry Cosmochim. Acts, 41, 1627-1641.
- Folk, R.L., 1974. **Petrology of sedimentary rocks.** Hemphill Publishing, 182 p.
- Forsner, V., 1987. **Sediment-associated contaminants - an overview of scientific bases for developing remedial options.** Hydrobiologia 149:221-246.
- Germain, A. et M. Janson, 1984. **Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Québec (1977-1981).** Direction générale des eaux intérieures. Section des relevés de qualité. Région du Québec. Environnement Canada, 232 p.
- Gouin, D., D. Malo, 1977. **Caractérisation des apports. Rapport technique no.14.** Services de protection de l'environnement pour le comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 332 p.
- Gower, J.C., 1971. **A general coefficient of similarity and some of its properties.** Biometrics 27:857-871.
- Hallal, P., 1984. **Inventaire du Port de Québec. Rapport de visites d'industries.**

- Hamelin, R. et ass. inc. 1987. **Prolongement et élargissement du Quai Murphy. M.I.L. Davie Inc., Lauzon. Addenda.** Rapport présenté à la compagnie Mil Davie Inc. 37 p. + annexes.
- Hamelin, R. et ass. inc. **Etude géotechnique, secteur quai 32. Port de Québec. Rapport final.** 37 p. + annexes.
- Hites R.A., Laflamme R.E., Farrington J.W., 1977. **Sedimentary Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: the historical record.** Science 192, 829-831.
- International Joint Commission, 1982. **Guidelines and register for evaluation of Great Lakes dredging projects.** Report, Dredging Sub-committee to Water Quality Programs Committee of the Great Lakes Water Quality Board.
- Jekel, M.R. et P.V. Roberts, 1980. **Total organic hologen as a parameter for the characterization of reclaimed waters: measurement, occurrence, formation and removal.** Environ. Sci. Technol. 18, 840-845.
- Laboratoire de construction inc., 1976. **Estuaire de la rivière St-Charles: forages et échantillonnages, octobre et novembre 1974.** Rapport présenté au Conseil des Ports nationaux, 6 p. + annexes.
- Laboratoire de génie sanitaire du Québec inc., 1984. **Dragage de l'estuaire de la rivière St-Charles. Suivi environnemental. Rapport final.** Société canadienne des Ports. Port de Québec. 11 p. + annexes.
- Laboratoire génie sanitaire du Québec, 1983. **Port de refuge Parc nautique de Lévis, ville de Lévis. Rapport préliminaire s.p.**
- Laboratoire hydrolique Lasalle, 1968. **Endiguement de la rivière Saint-Charles. Etude sur modèle.** LHL-497. 40p.
- Laboratoire hydrolique Lasalle, 1972a. **Modèle du port de Québec. Etude du projet d'aménagement numéro 1.** LHL-569. Rapport soumis au Ministère des Transports, division du développement régional. 34p.
- Laboratoire hydrolique Lasalle, 1972b. **aménagement portuaire des battures de Beauport: Modifications de la configuration initiale. Etude sur modèle.** LHL-843. Rapport soumis à Transports Canada, Garde côtière. 8p.
- Laboratoire hydrolique Lasalle, 1989. **Etude sur modèle réduit de nouvelles variantes d'aménagement.** LHL-1049. Rapport soumis à la Société du Port de Québec. 22p.

- Laflamme, R.E. et R.A. Hites, 1978. **The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 42, pp. 289-303.
- Langlois, C., J. Bureau, et H. Sloterdijk, 1988. **Contamination du lac Saint-Pierre par certains polluants organiques et inorganiques.** Comptes rendus de la 3e conférence sur les substances toxiques, Avril 1988, Montréal (québec). 228 p.
- Lavallée P., P. Lessard, 1984. **Importance de la contamination des réseaux unitaires.** Ministère de l'Environnement, Direction générale de l'assainissement des eaux et consultants BPR. Sciences et techniques de l'eau; vol. 17, no 4.
- Lebel, J., N. Silverberg et B. Sundby, 1982. **Gravity core shortening and pore coater chemical gradients.** *Deep Sea Research* 29 (11) 1365-1373.
- Legendre, L. et Legendre, P., 1984. **Ecologie Numérique, 2e édition, tome 1 et 2.** Collection d'Ecologie, Masson, Paris et les Presses de l'Université du Québec. xv + 260p., viii + 335p.
- Malo D. et D. Gouin, 1977a. **Incidences des rejets industriels et municipaux.** Rapport présenté par les Services de Protection de l'Environnement au Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, Rapp. tech. no 12, tome 1, 247 p.
- Malo, D. et D. Gouin, 1977a. **Incidences des rejets industriels et municipaux.** Rapport présenté par les Services de Protection de l'Environnement au Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapp. tech. no 14, 332 p.
- Marchand, M., J.C. Caprais, J. Tronczynski, J.C. Marty, P. Scribe, A. Saliot, 1986. **Processus de transport et flux des hydrocarbures halogènes dans l'estuaire de la Loire.** Rapp. p-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 186, 361-374.
- Marchand, M. et J. Roucaché, 1981. **Critères de pollution par hydrocarbures dans les sédiments marins.** Etude appliquée à la pollution du Bohlen. *Oceanol. Acta*, 4 (2), 171-183.
- Marsan et ass., 1984. **Les substances toxiques dans le moyen estuaire du Saint-Laurent.** Rapport présenté à Environnement Canada, direction générale des eaux intérieures.
- Martin, J.M., M. Meybeck, F. Salvadori et A. Thomas, 1976. **Pollution chimique des estuaires: état actuel des connaissances (juin 1974).** CNEXO, Brest, France, Rapp. scient. techn. No.22, 284 p.

- McNeely, R.N., V.P. Neimanis, L. Anyer, 1980. **References sur la qualité des eaux. Guide des paramètres de la qualité des eaux.** Environnement Canada 100 p.
- Ministère de l'Environnement, 1983. **Lignes directrices pour l'élimination des neiges usées.**
- Pelletier, M., 1982. **Evolution sédimentologique de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent.** Mémoire de thèse (M. Sc.) Université du Québec, Rimouski 216 p. + annexes.
- Persaud, D., R. Jaaguniagi et A. Hayten, 1989. **Development of provincial sediment quality guidelines.** Ontario Ministry of the Environment, water resources branch, aquatic biology section. Draft.
- Philippi, G.T., 1965. **On the depth, time and mechanism of petroleum generation,** Geochim, Cosmochim. Acta, 29, 1021-1049.
- Pluram Inc., 1981. **Etude des répercussions environnementales de l'extension du Port de Québec.** Rapport présenté au Conseil des Ports nationaux, Vol. 1 : inventaires et analyses des sites, 364 p.
- Poulin, Theriault ltee. 1986. **Projet d'épuration des eaux usées, Tome 1: Identification des options de réalisation du projet.** Rapport présenté à la Communauté urbaine de Québec, 170 p. + annexes.
- Poulin, Thériault Ltée, 1987. **Construction d'un quai et dragage dans le port de Québec. Qualité physico-chimique des sédiments et des sols au site du quai no 32 et solutions pour l'élimination des résidus de dragage.** Rapport préliminaire présenté au Ministère des transports du Québec. Service de l'environnement 32 p.
- Prandle, D et N Crookshauk, 1972. **Numerical model studies of the St-Lawrence river.** Mechanical engineering report. MH-109. 92p.
- Roberts, J.R., D.W. Rodgers, J.R. Bailey et M.A. Rorke, 1979. **Polychlorobiphényles : critères biologiques pour évaluer leurs effets sur l'état de l'environnement.** CNRC no 16078, 208 p.
- Roche, Envirolab, 1983. **Echantillonnage et analyse de sédiments. Diverses marina.** Travaux publics Canada. 18 p. + annexes.
- Roche Envirobec, 1985. **Etude des rejets à l'environnement et de la gestion des résidus au chantier maritime Davie.** Pour Environnement Canada. Mai 1985.
- Roche et ass., 1983a. **Etude des répercussions environnementales de l'extension du Port de Québec, aspects biophysiques.** Rapport présenté au Conseil des Ports nationaux, 376 p.

- Roche et ass., 1983b. **Dragage des quais de l'estuaire de la rivière Saint-Charles; évaluation environnementale initiale.** Rapport présenté au Conseil des Ports nationaux. 139 p.
- Roche et ass., 1983c. **Etude des effets de la diffusion des eaux usées sur le fleuve Saint-Laurent.** Rapport présenté à la Communauté urbaine de Québec, Tome 1, 9 p.
- Roche et ass., 1987. **Programme décennal de dragage dans la rivière Saint-Charles: étude d'impact sur l'environnement.** Rapport présenté à la Papeterie Reed Ltée, 76 p.
- Roche et ass., 1987. **Construction de l'émissaire des eaux traitées et du tronçon de l'intercepteur.** Régie inter municipale d'assainissement de la Pointe-Lévy. Etude d'impact sur l'environnement.
- Roche, 1988. **Etude préliminaire, stabilisation et approfondissement du Quai 28** (non-publié).
- Rochon, R. et M. Chevalier. 1987. **Echantillonnage et conservation des sédiments en vue de la réalisation des projets de dragage.** Environnement Canada. Conservation et protection, 28 p.
- Rochon, R., 1985. **Problématique des activités de dragage, revue de la situation et des méthodes et déterminations des secteurs de recherches prioritaires pour le Saint-Laurent.** Service de protection de l'environnement. Environnement Canada, 80 p.
- Salomons, W. et V. Forstner, 1984. **Metals in the Hydrocycle.** Springer-Verlay. 349 p. + figures.
- Serodes, J.-D., 1978. **Qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny.** Rapport présenté par la Direction régionale des eaux intérieures au Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapp. techn. no 15, 467 p.
- Shear M. et A.E.P. Watson. 1977. **Proceedings of a workshop on the fluvial transport of sediment-associated nutrients and contaminants.** International Joint Commission's Research Advisory Board on behalf of the pollution from land use activities reference group. 233 p.
- Sloterdijk, H., 1983. **Toxic substance in Lake St. Francis sediments.** Presented at the 10th Aquatic Toxicity Workshop, Halifax, N.S., November 1983, Can. Techn. Rep. Fish. Aqua. Sc., No. 1368, pp. 249-264.
- Sly P.G., 1979. **A report on studies of the effects of dredging and disposal in the Great Lakes with emphasis on Canadian waters.** Inland waters directorate. Canada Centre for Inland Waters, Fisheries and Environment Canada. Scientific series no 77. 38 p.

Société du Port de Québec (S.P.Q.)

Swiss, J.J. et coll., 1982. **Limites des substances réglementées par l'annexe 1 de la Loi sur l'immersion en mer : aperçu général.** Pêches et Océans Canada, Immersion en mer, Rapport no 3F.

Sylvestre, P., 1987. **Les poussières dans l'air ambiant dans la région du Port de Québec.** Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Montréal. Août 1987.

Tronczynski, J., J.N. Gearing, S. Macko, 1987. **Characterization of selected organics on particles and sediments of the St. Lawrence Estuary.** 21st Annual Congress of Canadian Meteorological and Oceanographic Society. June 16-19, 1987. St. John's Nfld.

Tronczynski, J., 1987b. **Distribution and sources of hydrocarbons, fatty acids and organic matter on particles and sediments in St. Lawrence estuary, Québec.** 8th int. Symposium on Environmental Biogeochemistry. Sept. 14-18, 1987. Nancy, France.

Van Vleet E.S., J.G. Quinn, 1977. **Input and fate of petroleum hydrocarbons entering the Providence River and Upper Narragansett Bay from waste water effluents.** Environ. Sci. Technol., 11, 1086-1092.

Vigneault, Y. et al., 1978. **Plan d'utilisation des matériaux dragués dans le fleuve Saint-Laurent.** Annexe no 6. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 137 p.

Walton, A., 1980. **Méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sédiments marins et des matières draguées. Immersion de déchets en mer.** Rapport no.1, Ministère des Pêches et Océans, Gouvernement du Canada, 77 p.

# CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS DU PORT DE QUÉBEC

## Synthèse des données antérieures

### Carte 1

NOTE: Les unités des paramètres de contaminants sont en mg/kg.

La nature des sédiments est exprimée en pourcentage de gravier, sable, silt et argile.

- Limite de la zone à l'étude
- ⊙ Numéro de quai
- Émissaire
- Source potentielle de contamination
- Limite de zone
- Point d'échantillonnage

#### Critères d'évaluation de la qualité des sédiments

	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
Acceptable	3	0,05	5	15 000	70	30	0,1	1 000	0,3	420	20	30 000	80	0,0
Non acceptable	6	0,10	8	30 000	90	60	0,25	2 000	1	850	60	30 000	175	0,0

- Les valeurs soulignées d'un trait dépassent la limite acceptable.

- Les valeurs soulignées de deux traits dépassent la limite non acceptable.

ÉCHELLE 1:15 000

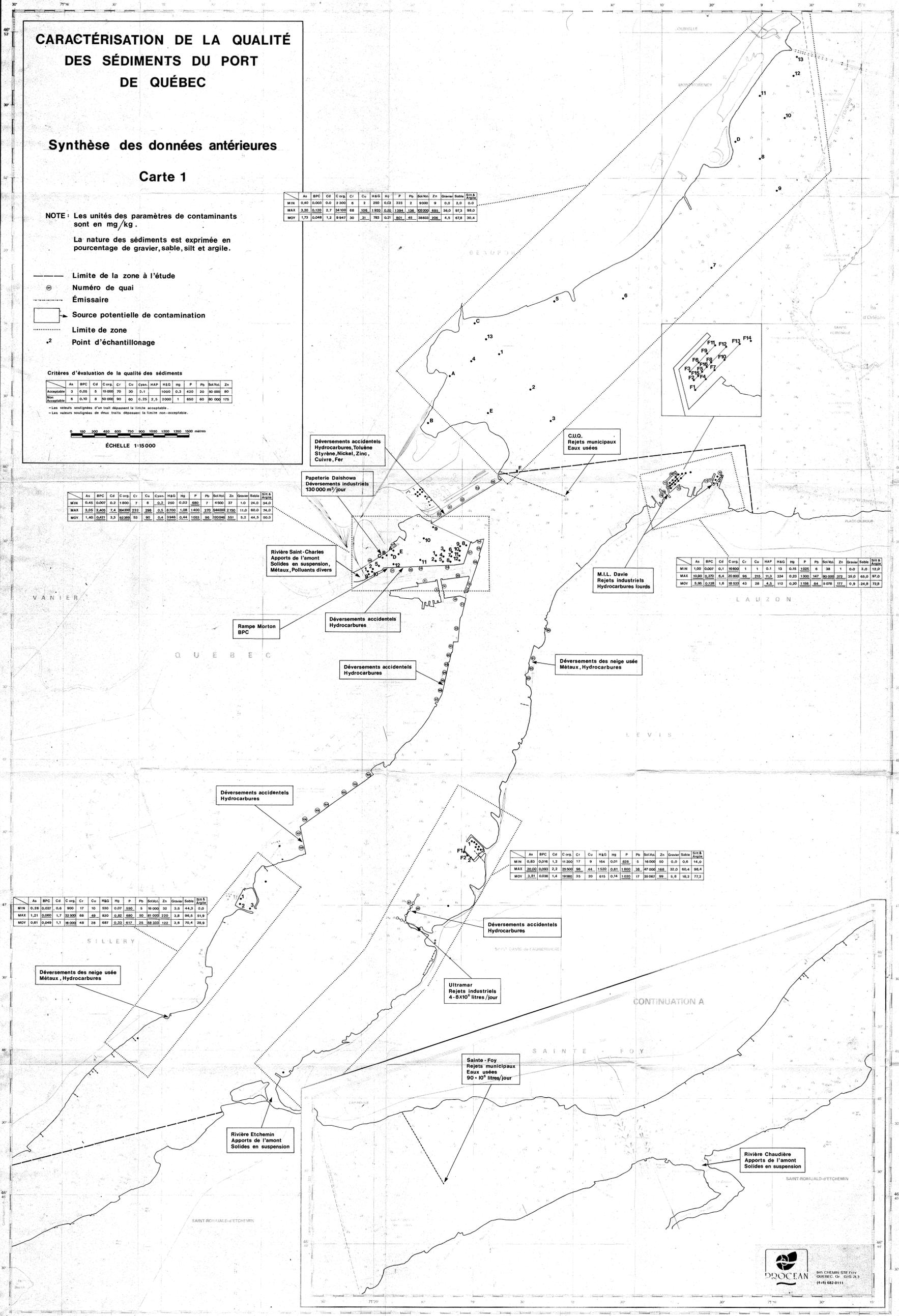
	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
MIN	0,40	0,003	0,2	1 200	8	0,2	250	0,02	323	7	9 000	9	0,0	0,0
MAX	3,20	0,120	2,7	34 500	68	108	1 990	0,26	1 364	136	10 200	498	34,0	97,3
MOY	1,73	0,048	1,2	9 947	30	31	783	0,1	801	45	3 883	206	4,6	67,8

	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
MIN	0,45	0,007	0,2	1 800	7	0,2	260	0,02	480	7	4 500	37	1,0	24,0
MAX	3,05	0,405	7,4	34 200	232	298	0,5	8 700	1,08	1 420	270	64 000	2 150	11,0
MOY	1,40	0,451	3,3	12 369	63	90	0,4	3 946	0,44	1 053	86	10 046	551	5,2

	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
MIN	1,00	0,007	0,1	16 000	1	1	0,1	15	0,15	1 055	4	38	1	0,0
MAX	10,80	0,270	5,4	20 000	36	215	11,3	324	0,23	1 320	147	90 000	372	65,0
MOY	5,95	0,128	1,6	18 538	43	28	4,5	112	0,20	1 138	84	3 076	177	0,9

	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
MIN	0,83	0,018	1,3	14 000	17	9	0,01	885	5	16 000	50	0,0	0,0	14,0
MAX	30,00	0,093	2,2	25 000	98	4,5	1 520	0,61	1 800	38	47 000	168	32,0	60,4
MOY	3,81	0,038	1,4	19 960	35	30	0,14	1 020	17	30 067	99	5,6	18,2	77,2

	As	BPC	Cd	C.org.	Cr	Cu	HAP	Hg	P	Pb	Sol.Vol.	Zn	Sable	Silt & Argile
MIN	0,26	0,007	0,6	900	17	10	0,07	550	5	16 000	32	3,8	44,3	0,0
MAX	1,21	0,060	1,7	32 500	48	49	0,82	680	50	81 000	220	3,8	96,5	91,8
MOY	0,61	0,049	1,1	18 000	48	28	0,33	517	25	38 233	122	3,6	70,4	25,8



MÉTRIQUE / METRIC

MÉTRIQUE / METRIC

