

Québec

Canada

**ASPECTS
QUANTITATIFS, DYNAMIQUES ET QUALITATIFS
DES SÉDIMENTS
DU SAINT-LAURENT**

GB
1399.9
.C38
F74
Ex. B

Rég. Québec Biblio. Env. Canada L.



38 000 986

98410
X

Septembre 1969
HYDROTECH Inc.

GB
1399.9
L3B
F74
EXB

EL 3007708I

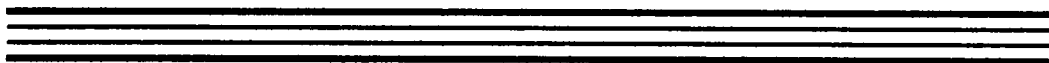
**Gouvernement du Canada
Environnement Canada**

**Gouvernement du Québec
Projet de mise en valeur du
Saint-Laurent**



**ASPECTS QUANTITATIFS, DYNAMIQUES ET QUALITATIFS
DES SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT**

M. Frenette, C. Barbeau et J.-Ls Verrette



**HYDROTECH Inc.
Experts-conseils**

Septembre 1989

EQUIPE DE REALISATION

Dr Marcel Frenette, ing. (coordonnateur)
Dr Claude Barbeau, chimiste
Dr Jean-Louis Verrette, ing.

Assistés de:

M. Martin Drolet, ing. géologue jr
M. Richard Frenette, ing. jr
M. Marc Morin, ing. jr
Mme Guylaine Bernard, étudiante
M. René Laviolette, étudiant
Mme Louise Laberge, secrétaire
Mme Claire Letendre, secrétaire
M. Richard Martineau, dessinateur

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier les personnes suivantes qui ont rendu possible cette étude de même que pour leur assistance tout au cours du mandat:

Dr. Terry J. Day, Direction générale des Eaux
Intérieures
Environnement Canada, Hull

M. Lucien Martel, Hydrologie et Réseau
Centre St-Laurent
Environnement Canada, Montréal

M. Clermont Gignac, Sous-ministre adjoint
Projet de mise en valeur du
Saint-Laurent, Québec

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the above individuals who make this study possible and for their assistance during the course of the mandate.

RESUME

Le présent document constitue une compilation et une mise à jour des données disponibles sur les sédiments du Saint-Laurent, intégrées et analysées sous trois thèmes différents: aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs. Des recherches particulières et une modélisation mathématique ont également servi de support à plusieurs énoncés du contenu. Les données sont fournies selon divers modes de présentation puis synthétisées dans huit planches caractérisant les principaux traits dominants du fleuve sur le plan sédimentologique. L'information contenue dans ce document facilitera l'évaluation environnementale et le programme de protection et de mise en valeur du Saint-Laurent.

ABSTRACT

This report is a compilation of the available data on the sediments of the St. Lawrence River, integrated and analysed under three different themes: quantitative, dynamic and qualitative aspects. Particular researches and mathematical modeling have provided support for several statements. The data are presented in various formats and synthesized in eight general drafts characterizing the main features of the St. Lawrence in regard to the sedimentological aspect. The information contained in the report shall help the environmental evaluation and the programme of protection and of development of the St. Lawrence River.

SOMMAIRE EXECUTIF

Les études passées en revue dans ce document visent à mettre à jour les informations disponibles sur les aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent entre la sortie des Grands Lacs (Cornwall) et l'estuaire (Montmagny).

Le caractère spécifique de chaque volet a fait l'objet d'une approche intégrée par région géographique (secteur international, régions de Montréal, de Trois-Rivières, de Québec) et par sujet: historique des relevés et des études, état de connaissance actuelle, caractérisation par secteur, conclusions et recommandations.

Le document présente plusieurs originalités, notamment en rapport avec la modélisation mathématique réalisée dans le cadre de l'étude sur le bilan sédimentaire de chaque tributaire comparé à la charge solide dans le fleuve; en rapport avec le rôle des crues, des étiages et des vents (effets des vagues) et de la diffusion des affluents sur la dynamique des fonds et de la charge solide en suspension; et en rapport avec les capacités d'échanges de contaminants entre les eaux et les sédiments du Saint-Laurent. Huit planches synthèses accompagnent le document.

La revue des études, l'analyse critique de l'ensemble des données et les travaux de recherche spécifiques réalisés à l'intérieur du mandat conduisent à un bilan de connaissance qui met en relief les points suivants:

- L'hydrologie et l'hydrodynamique, incluant la diffusion des affluents, jouent un rôle très important sur la dynamique sédimentaire du Saint-Laurent tant au niveau des fonds que des solides en suspension.
- La charge solide moyenne annuelle du Saint-Laurent à Montréal est de l'ordre de 2 500 000 t.a⁻¹ et de 6 500 000 t.a⁻¹ à Québec.

- Par rapport à l'estuaire (Québec), la majorité des sédiments proviennent des bassins agricoles de la province de Québec (près de 70%) contrairement aux masses d'eau qui proviennent en grande partie des Grands Lacs (près de 70%).
- La sédimentation dans les lacs est ponctuelle et transitoire (saisonnière ou annuelle), puisque sujette à une remise en suspension lors des grandes crues ou périodes de grands vents.
- Les taux de sédimentation des lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre sont relativement faibles et variables; la sédimentation a surtout lieu au printemps.
- Le lac Saint-Pierre constitue le secteur le plus actif du Saint-Laurent sur le plan sédimentologique étant donné les apports importants des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet (près de 1 300 000 t.a⁻¹).
- Divers secteurs bien abrités présentent un caractère permanent de déposition ou d'accumulation de sédiments (ex.: Îles de la paix, port de Montréal, delta de Sorel).
- Le temps de parcours de la masse liquide et des suspensoïdes dans le fleuve entre Cornwall et l'estuaire est relativement court, soit de quatre à cinq jours seulement, incluant les temps de séjour dans les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre.
- Même si les sédiments de fonds ou en suspension sont 100 000 fois plus riches en substances toxiques que la masse correspondante d'eau, la phase dissoute, en raison de son importance beaucoup plus grande que celle de la phase particulaire, contient plus de 90% de l'ensemble des substances toxiques.

Les principales lacunes relevées lors de notre étude sont:

- Les diverses charges sédimentaires associées aux régimes de crues du Saint-Laurent (printemps et automne) sont pratiquement inconnues.
- La qualité des sédiments pénétrant dans le fleuve est pratiquement inconnue.

- La dynamique des divers milieux, incluant les corridors de mélange et l'effet des lacs, des îles, des crues, des vents et des glaces, sur les mouvements de fond et la charge en suspension sont très mal connues.
- La méconnaissance de la stabilité des fonds conduit à la méconnaissance de l'évolution de l'état de contamination des fonds.
- L'absence de données chronologiques ne permet pas de relier l'état de contamination de sédiments et la période de contamination.
- Le manque de connaissance sur les relations entre les fonds contaminés et les sources de contamination rend difficile toute décision éclairée sur la gestion des sédiments contaminés.

L'éclairage fourni par le document confirme de plus en plus l'importance et le rôle des sédiments dans la qualité de l'environnement et la mise en valeur du Saint-Laurent. Le document met de plus en relief plusieurs lacunes qui devront être comblées avant que des interventions puissent être envisagées dans le Saint-Laurent, particulièrement au niveau de la décontamination des fonds.

SUMMARY

The purpose of the studies reviewed in this report is to update existing data on the quantitative, dynamic and qualitative aspects of the sediment in the St Lawrence River between the exit of the Great Lakes and the estuary (Montmagny).

The specific nature of each aspect was the subject of an integrated approach based on geographic region (international sector, regions of Montreal, Trois-Rivières, Quebec City) and subject (past surveys and studies, existing data, characterization by sector, conclusions and recommendations).

The report contains a number of new concepts, notably the mathematical modelling performed as part of the study on the sediment budget of each tributary as compared to the sediment load in the river; the role of floods, low water, winds (effects of waves) and mixing on the dynamics of stream beds and suspended sediment load; and the capability of contaminant exchange between the water and the sediment of the St Lawrence River. It also contains eight plates.

The review of the studies, the critical analysis of all available data and the specific research conducted as part of the mandate led to an overview of the data which highlights the following points:

- Hydrology and hydrodynamics, including mixing, play a key role in the sediment dynamics of the St Lawrence River in terms of both bed load and suspended sediment load.
- The average sediment load of the St Lawrence River is roughly 2,500,000 t/y at Montreal and 6,500,000 t/y at Quebec City.
- With respect to the estuary (Quebec), most sediment (close to 70%) comes from agricultural basins in the province of Quebec, unlike the water masses, which come largely from the Great Lakes (close to 70%).

- Sedimentation in the lakes is short-term and transitory (seasonal or annual) owing to redispersion by major floods or high winds.
- The rate of sedimentation in lakes Saint-François, Saint-Louis and Saint-Pierre is relatively low and variable; sedimentation occurs primarily in the spring.
- Lake Saint-Pierre is the most active sector of the St Lawrence River in terms of sedimentology owing to major loadings from the Richelieu, Yamaska, Saint-François and Nicolet rivers (close to 1,300,000 t/y).
- A number of well sheltered sectors are characterized by permanent sediment deposition or accumulation (for example Iles de la Paix, Port of Montreal, Sorel delta).
- The travel time of the water mass and suspended solids in the river between Cornwall and the estuary is relatively short, namely four to five days, including the residence time in lakes Saint-François, Saint-Louis and Saint-Pierre.
- Although the bottom sediment and suspended sediment are 100,000 times richer in toxic substances than the corresponding water mass, since the dissolved phase is substantially larger than the particulate phase, it contains more than 90% of all toxic substances.

Our study turned up the following main shortcomings:

- There is virtually no data on the various sediment loads associated with the flood conditions of the St Lawrence River (spring and fall).
- The dynamics of the various environments, including mixing zones, the effects of lakes, islands, floods and winds on stream bed movements and suspended sediment load are very poorly understood.

- The lack of data on stream bed stability results in a lack of data on changes in stream bed contamination.
- The lack of chronological data prevents us from establishing a relationship between the state of sediment contamination and the period of contamination.
- Very little data is available on the quality of sediment entering the river.
- The lack of data on contaminated stream beds and sources of contamination makes it difficult to make an informed decision regarding the management of contaminated sediment.

The information provided in the report confirms the importance and impact of sediment on environmental quality and the enhancement of the St Lawrence River. In addition, the report outlines a number of shortcomings that should be remedied before action can be considered in the St Lawrence, particularly with respect to the decontamination of bottom sediment.

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS	xiv
I - INTRODUCTION	1
II - PHYSIOGRAPHIE DU FLEUVE	7
III- SOMMAIRE HYDROLOGIQUE	19
IV - HYDRODYNAMIQUE	25
4.1 Dynamique du milieu hydrique.....	25
4.1.1 Régime des vitesses.....	25
4.1.2 Temps de parcours.....	28
4.1.3 Vents.....	31
4.1.4 Conclusion.....	34
4.1.5 Recommandations.....	36
4.2 Mélange et dispersion des eaux.....	37
4.2.1 Historique.....	37
4.2.2 Etat de connaissance.....	39
4.2.3 Caractérisation par secteur.....	44
4.2.3.1 Région de Montréal.....	44
4.2.3.2 Région de Trois-Rivières.....	48
4.2.3.3 Région de Québec.....	51
4.2.4 Conclusion.....	54
4.2.5 Recommandations.....	55
4.3 Régime thermique.....	56
4.3.1 Généralités.....	56
4.3.2 Conclusion.....	59
4.4 Régime des glaces.....	59
4.4.1 Conclusion et recommandations.....	61

V - BILANS SEDIMENTAIRES	62
5.1 Généralités.....	62
5.1.1 Historique des relevés.....	62
5.1.2 Transport de fond.....	66
5.2 Etat de connaissance (bilan d'entrée).....	70
5.2.1 Concentration en solides.....	70
5.2.2 Apports solides.....	76
5.2.3 Caractérisation par secteur.....	85
5.2.4 Nature des sédiments en suspension.....	89
5.2.5 Apports des effluents urbains et industriels.....	90
5.3 Bilan de sortie (estuarien).....	90
5.4 Charriage solide de fond.....	92
5.5 Synthèse des bilans.....	93
5.6 Discussion générale (bilans).....	94
5.7 Caractérisation par secteur.....	96
5.8 Conclusion.....	98
5.9 Recommandations.....	100
VI - NATURE DES FONDS	102
6.1 Généralités sur la morphologie du fleuve.....	102
6.2 Généralités sur la nature des fonds.....	102
6.3 Caractérisation par secteur.....	103
6.4 Zones d'érosion, de transport et de déposition.....	110
6.5 Conclusion.....	110
6.6 Recommandations.....	111
VII - ACTIVITES DE DRAGAGE	113
7.1 Historique et état de connaissance.....	113
7.1.1 Dragage du chenal maritime.....	113
7.1.2 Activités d'entretien.....	114
7.1.3 Nature et qualité des sédiments.....	115

VIII - QUALITE DES SEDIMENTS.....	118
8.1 Historique des relevés.....	118
8.1.1 Travaux de synthèse.....	118
8.1.2 Travaux sectoriels.....	122
8.1.3 Discussion.....	126
8.2 Etat de connaissance.....	128
Comportement physico-chimique des sédiments dans le fleuve Saint-Laurent.....	128
8.2.1 Généralités.....	128
8.2.2 Interaction: eau-sédiments.....	132
8.3 Caractérisation de la qualité des sédiments de fond.....	133
8.4 Caractérisation et recommandations par région.....	134
8.4.1 Lac Ontario - Ile Wolfe (région de l'Ontario).....	134
8.4.1.1 Bilan de qualité.....	134
8.4.1.2 Conclusion.....	137
8.4.1.3 Recommandations.....	138
8.4.2 Ile Wolfe à Cornwall (région internationale).....	139
8.4.2.1 Généralités.....	139
8.4.2.2 Matières en suspension.....	140
8.4.2.3 Sédiments de fond.....	141
8.4.2.4 Conclusion.....	142
8.4.2.5 Recommandations.....	142
8.4.3 Cornwall - Sorel (région de Montréal).....	143
8.4.3.1 Généralités.....	143
8.4.3.2 Lac Saint-François.....	144
8.4.3.3 Lac Saint-Louis.....	145
8.4.3.4 Lac Des-Deux-Montagnes.....	148
8.4.3.5 Rivière des Outaouais.....	148
8.4.3.6 Laprairie - Sorel.....	150
8.4.3.7 Conclusion.....	151
8.4.3.8 Recommandations.....	152
8.4.4 Région de Trois-Rivières (Sorel - Deschambault).....	152
8.4.4.1 Généralités.....	153
8.4.4.2 Sédiments de fond.....	154
8.4.4.3 Conclusion.....	155
8.4.4.4 Recommandations.....	156
8.4.5 Deschambault à Montmagny (région de Québec).....	156
8.4.5.1 Généralités.....	156
8.4.5.2 Matières en suspension.....	157
8.4.5.3 Sédiments de fond.....	158

8.4.5.4	Conclusion.....	159
8.4.5.5	Recommandations.....	159
IX - SYNTHESE SUR LA DYNAMIQUE DES FONDS CONTAMINES.....		161
X - CONCLUSION GENERALE		163
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		168

ANNEXES:

- . Annexe I : Données contenues dans une fiche sédimentologique
(Ex.: Rivière Chaudière)
- . Annexe II : Relations entre la concentration en solides et
le débit liquide dans le Saint-Laurent à Montréal
- . Annexe III: Planches 1 à 8
- . Annexe IV: Photographies

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	- Subdivision du Saint Laurent.....	4
Figure 2.1	- Vue générale du Saint-Laurent.....	8
Figure 2.2	- Régions physiographiques du Saint-Laurent.....	9
Figure 2.3	- La mer de Champlain à travers les âges.....	10
Figure 2.4	- Carte des argiles et de la dernière récession glaciaire.....	12
Figure 2.5	- Limites du bassin versant, réseau hydrographique du Saint-Laurent.....	13
Figure 3.1	- Débit moyen du fleuve à Cornwall entre 1960 et 1985.....	20
Figure 3.2	- Variations des débits mensuels à Cornwall et à Carillon entre 1974 et 1987.....	21
Figure 4.1	- Vitesses résiduelles dans l'estuaire de mélange du Saint-Laurent.....	29
Figure 4.2	- Fréquence et direction des vents moyens.....	33
Figure 4.3	- Schématisation du mélange d'un affluent au Saint-Laurent et corridors d'écoulement en crue et en étiage dans la région de Gentilly.....	41
Figure 4.4	- Trajectoire d'écoulement pour un débit moyen et de forte crue dans le lac Saint-Louis.....	46
Figure 4.5	- Schéma de l'écoulement résiduel à marée faible et limites de la zone de mélange.....	53
Figure 4.6	- Evolution temporelle de la température de l'eau dans le fleuve Saint-Laurent.....	58
Figure 5.1	- Carte des stations sédimentologiques.....	67
Figure 5.2	- Histogramme des stations sédimentologiques.....	68
Figure 5.3	- Résultat des stations sédimentologiques.....	69
Figure 5.4	- Bilan sédimentaire.....	71

Figure 5.5	- Distribution des matières en suspension dans la zone de mélange estuarienne.....	74
Figure 5.6a-	Rivière Chateauguay: relation Q_2 vs Q_s	77
Figure 5.6b-	Rivière Chateauguay: courbe de débit liquide et de débit solide cumulé.....	78
Figure 5.6c	- Rivière Chateauguay: sédimentogramme année maximale (1972).....	79
Figure 5.6d	- Rivière Chateauguay: sédimentogramme année moyenne (1986).....	80
Figure 5.7	- Apports simulés du lac Saint-Louis; a) 1972, b) 1974 c) 1981, d) conditions extrêmes.....	82
Figure 5.8	- Bilans sédimentaires simulés du lac Saint-Louis; a) 1972, b) 1974, c) 1981, d) conditions cumulées comparées à la crue centennale.....	84
Figure 5.9	- Vitesse et concentration des sédiments en suspension dans l'estuaire du Saint-Laurent.....	91
Figure 6.1	- Evolution des dimension des sédiments de fond, fleuve Saint-Laurent 1972.....	104
Figure 7.1	- Dragage de chenal maritime dans le Saint-Laurent.....	113a
Figure 7.2	- Chenal dragué - aires de déversement.....	116
Figure 8.1	- Paramètres de qualité (eau-sédiments) mesurés dans le Saint-Laurent entre 1971 et 1988.....	127
Figure 8.2	- Distribution relative des contaminants dans la phase particulaire selon les coefficients de partage.....	130
Figure 8.3	- Distribution relative des contaminants dans la phase particulaire selon les coefficients de partage.....	131
Figure 8.4	- Lac Saint-Louis: caractérisation générale des fonds contaminés selon divers auteurs (1974-1985).....	146
Figure 8.5	- Lac Saint-Louis: caractérisation particulière des fonds pour divers paramètres.....	147

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 - Bathymétrie du Saint-Laurent

Planche 2 - Régime de vitesses

Planche 3 - Diffusion

Planche 4 - Dégradation des sols

Planche 5 - Charges solides en suspension dans le Saint-Laurent

Planche 6 - Morphologie de la roche de fond

Planche 7 - Nature des fonds

Planche 8 - Carte synthèse comprenant:

- Zones contaminées par une ou plusieurs substances toxiques;
- Dynamique des sédiments;
- Zones potentielles d'accumulation et de dépôt.

ASPECTS QUANTITATIF, DYNAMIQUE ET
QUALITATIF DES SEDIMENTS
DU SAINT-LAURENT

AVANT-PROPOS

Les études passées en revue dans ce document s'inscrivent, d'une part, dans le cadre d'un mandat du ministère de l'Environnement du Canada touchant le bilan des apports et la dynamique sédimentaire du fleuve, incluant la diffusion des affluents, et d'autre part, du ministère de l'Environnement du Québec en rapport avec la qualité des sédiments et leur interaction avec la phase aqueuse. L'objectif principal de ces études vise à formuler les recommandations jugées nécessaires à la poursuite de la connaissance du fleuve et de sa mise en valeur.

A cette fin, nous présentons un examen synthèse sur les informations recueillies et intégrées, sur l'analyse critique de l'ensemble des données et sur les travaux de recherches spécifiques réalisés à l'intérieur du mandat, en rapport avec le régime sédimentologique du fleuve. Les informations ont été examinées en profondeur en fonction de la provenance, de la validité et de la représentativité des données, de l'objet des études et relevés, des techniques de relevés et d'analyse, de l'interprétation et de l'intégration des observations et enfin, de l'importance quant au rôle des sédiments dans la contamination du Saint-Laurent.

Par conséquent, les relevés et analyses antérieurs ont été révisés et mis à jour afin de fournir un éclairage plus précis sur les aspects physique, chimique et dynamique des sédiments du Saint-Laurent.

Malgré la multitude remarquable de relevés et d'analyses, plusieurs points demeurent obscurs, notamment en regard des conditions d'entrée (apports des Grands Lacs, du secteur international (lac Saint-Laurent), de la rivière des Outaouais, etc.), et de la dynamique du milieu, compte tenu des mécanismes de mélange et des conditions de sortie, distinctes d'un endroit à un autre (Québec, Montmagny, Saguenay, etc.).

Il y a lieu également de connaître adéquatement la capacité de rétention saisonnière et annuelle en sédiments fins des lacs Saint-François, Saint-Louis, des Deux-Montagnes et Saint-Pierre étant donné que la persistance et la dynamique sédimentaire des fonds dits contaminés soulèvent encore un grand nombre de questions.

Les résultats sédimentologiques présentés ci-après reflètent assez bien, à notre avis, l'état de connaissance actuelle (1989) du fleuve Saint-Laurent, à partir des Grands Lacs jusqu'à Montmagny.

INTRODUCTION

Le Saint-Laurent reçoit chaque année de fortes quantités d'eau et de sédiments qui ont été en contact avec des contaminants terrestres, aqueux ou atmosphériques. Le degré de contamination est associé alors en grande partie aux activités humaines dans les secteurs industriels, urbains et agricoles. Par sa situation géographique et par son histoire, en effet, le Saint-Laurent constitue l'axe majeur de développement du Québec et a fortiori du Canada et de l'Amérique, puisqu'il sert de porte d'entrée à l'arrière-pays comprenant une bonne partie du continent nord-américain. Cette richesse naturelle subit cependant les contrecoups de son incursion puisque le Saint-Laurent constitue l'exutoire d'une véritable mer intérieure - les cinq Grands Lacs - drainant un territoire de 765 000 km² avec un bassin de population de plus de 40 millions d'habitants, constituant le coeur du réseau industriel nord-américain et canadien. Au Québec, la majorité de la population, soit près de 4 millions d'habitants occupent le bassin du Saint-Laurent.

Les usagers de l'eau, des sols et de l'atmosphère du système Grands Lacs/Saint-Laurent affectent de multiples façons la qualité de chaque milieu à cause:

- du rejet de plusieurs substances toxiques qui sont véhiculées par l'eau et les sédiments;
- de la contamination bactériologique et chimique du milieu récepteur (eau, sédiments, végétation);
- de l'enrichissement en éléments nutritifs de l'eau et des sédiments et de la modification de l'écosystème;
- des retombées atmosphériques des substances toxiques émises dans l'air.

En effet, les retombées atmosphériques jouent un rôle important dans la contamination de l'eau et des sédiments du système Grands Lacs/Saint-Laurent. C'est ainsi, par exemple, que l'on attribue aux apports atmosphériques la quasi-totalité des BPC observés dans le lac Supérieur et jusqu'à 50% à l'exutoire du lac Ontario (R. Thomas communication personnelle).

La connaissance du Saint-Laurent a progressé radicalement suite aux études entreprises entre les années 1972-77 dans le cadre d'un protocole d'entente des autorités fédérales et provinciales qui ont conduit à la rédaction de plusieurs rapports sectoriels par divers groupes, intégrés par la suite par le comité d'étude du fleuve Saint-Laurent (C.E.F.S.L.) en 1978. Depuis, plusieurs autres études sectorielles se sont ajoutées. Néanmoins, même encore aujourd'hui, le fleuve présente de grandes inconnues, notamment sur les plans dynamique, physique et physico-chimique des solides et leurs interactions avec la phase aqueuse et l'écosystème.

Il importe donc de bien mettre en lumière le rôle des sédiments dans le fleuve, tant pour des fins d'amélioration de la qualité du milieu que pour les usages et la mise en valeur du Saint-Laurent. Dans ce but, trois thèmes généraux ont été retenus: quantité, qualité, et dynamique des sédiments, en caractérisant le fleuve par rapport:

- aux sources d'entrée (Grands Lacs, tributaires);
- aux bilans sédimentaires (entrées, sorties);
- à la dynamique du milieu associée aux différents régimes hydrologique et hydrodynamique;
- à l'analyse des comportements physico-chimiques des sédiments;
- à la qualité même des sédiments dans la phase aqueuse (interaction: eau - sédiment);
- aux aires de déposition et à leur persistance;

- aux liens entre les zones de sédimentation et les sources de pollution;
- aux dragages.

Bref, il importe de connaître autant l'enveloppe sédimentaire des divers milieux aquatiques en mouvement que la masse d'eau elle-même, qui agit comme véhicule de transport, tant sur les fonds qu'en suspension, en tenant compte non seulement de l'hydrologie et de l'hydraulique, incluant les phénomènes de diffusion, mais aussi des saisons, de la marée et de l'effet des glaces et des vents .

Les spécificités de chaque composante sédimentologique du fleuve constituent la base du présent document. Afin de rationaliser l'approche du rapport, chacun des thèmes a été développé comme suit:

- historique des relevés et des études;
- état de connaissance actuelle;
- caractérisation par secteur;
- conclusion;
- recommandations.

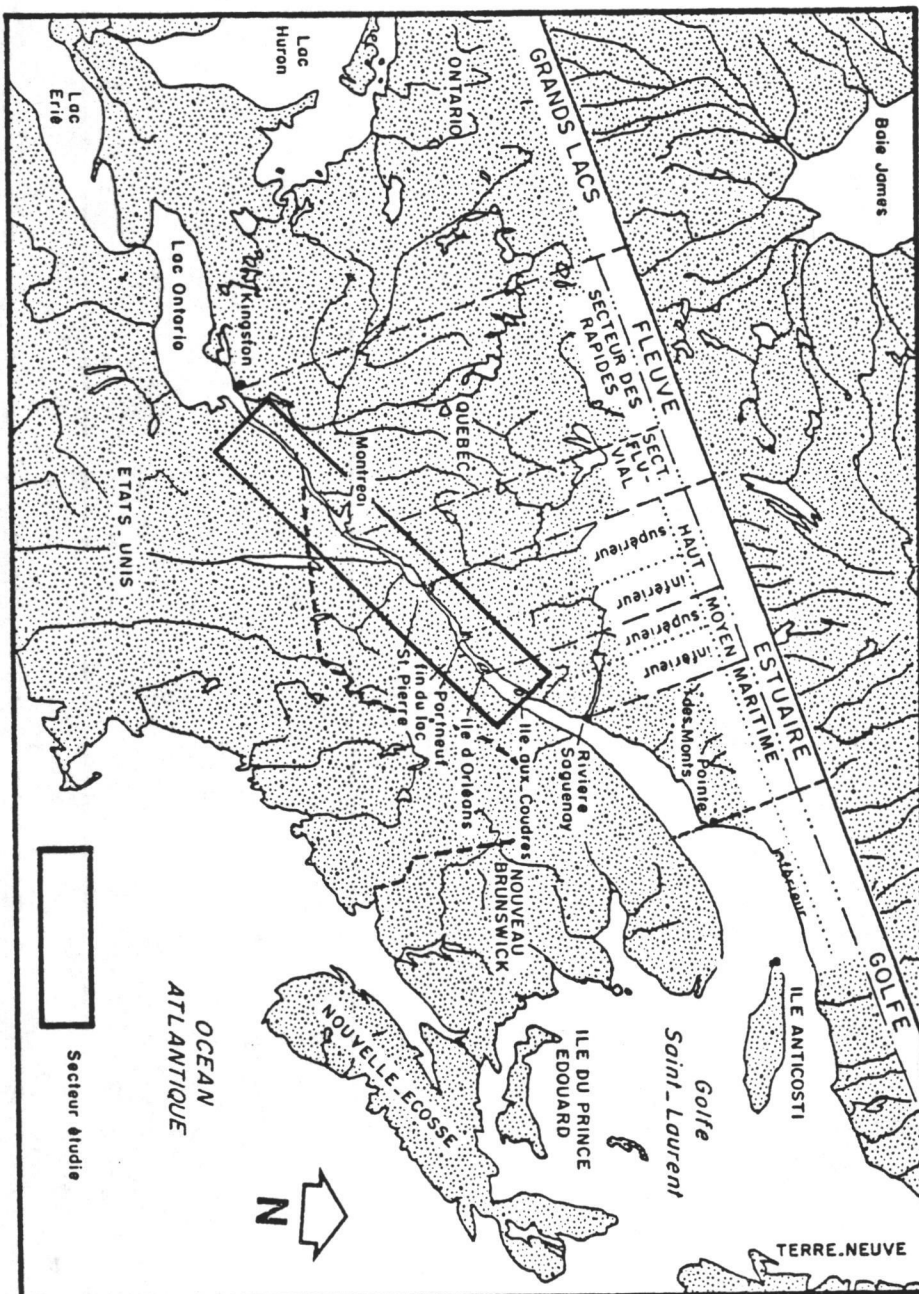
De plus, étant donné le caractère hétérogène du fleuve depuis son origine jusqu'à son embouchure, les processus sédimentologiques varient notablement d'un secteur hydro-géographique à un autre. Ainsi, nous avons été amenés à travailler par région et par secteur en considérant cinq grandes régions (voir figure 1.1):

- les Grands Lacs (tronçon international)

caractérisant la qualité et la quantité des eaux et des sédiments à Kingston et Cornwall (sortie du lac Ontario et du lac Saint-Laurent);

Fig. 1.1 Subdivision du Saint-Laurent

Source: Centreau, 1974.



- la région de Montréal: comprise entre Cornwall et Sorel, caractérisée par son réseau très complexe de cours d'eau en rapides, de lacs, de couloirs fluviaux et d'îles, affectée par des interventions humaines (barrages, canalisation maritime) et dominée par trois apports majeurs: les Grands Lacs, la rivière des Outaouais, et de façon moindre quantitativement mais peut-être pas qualitativement, par une série de cours d'eau en provenance des Etats-Unis;
- la région de Trois-Rivières: incluant le delta de Sorel, le lac Saint-Pierre, les zones de mélange des principaux tributaires (Richelieu, Saint-Maurice, Saint-François, etc.) et le tronçon des eaux douces ralenties par le phénomène de marée, soit jusqu'aux rapides Richelieu, situés à la hauteur de Deschambault;
- la région de Québec: comprenant l'estuaire fluvial à courant réversible à partir des rapides Richelieu et l'estuaire de mélange eau douce-eau salée compris entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres;
- la région maritime: incluant l'estuaire moyen compris entre l'île aux Coudres et Pointe-des-Monts et le Golfe proprement dit, s'étendant de Pointe-des-Monts à l'île d'Anticosti.

Notre mandat comme tel couvre le Saint-Laurent, de Cornwall à l'estuaire de mélange eau douce - eau salée (Montmagny). Néanmoins, à l'occasion nous avons débordé ces limites pour obtenir plus d'informations sur les conditions d'entrée et de sortie.

II

PHYSIOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

La physiographie du bassin du fleuve reflète son histoire géologique. Son relief, comme le montre la figure 2.1 présente trois formations distinctes:

- au nord, le Bouclier canadien, constitué de roches cristallines âgées de 600 millions à quatre milliards d'années;
- au sud, les Appalaches, composées de roches sédimentaires très déformées datant de plusieurs centaines millions d'années;
- au centre, les basses-terres du Saint-Laurent formées de roches sédimentaires plus récentes recouvertes de dépôts de la période quaternaire.

C'est ainsi que le Saint-Laurent occupe partiellement le tracé de la faille Logan qui sépare les deux unités géologiques (voir figure 2.1).

Au cours de son histoire récente le Saint-Laurent a subi quatre glaciations; la dernière, soit celle du Wisconsin, date d'environ 70 000 ans. Au retrait des glaces, il y a 9 000 à 12 000 ans, une pointe glaciaire se maintint à la hauteur de l'Ile Verte pour empêcher la mer de Champlain d'envahir le Saguenay. Quelques milliers d'années plus tard, à son retrait, il y a eu inversion du Saguenay pour les eaux de la mer de Champlain pour donner la mer Laflamme (J.V. Chagnon, communication personnelle) (voir figure 2.2). Les dépôts d'argile marine (voir figure 2.3) laissés par les eaux constituent aujourd'hui le majeure partie des basses terres de la vallée du Saint-Laurent.

Le retrait de la mer Champlain vers l'Atlantique est survenu graduellement avec le relèvement isostatique. Il s'ensuivit à chaque baisse de niveau d'eau une érosion du lit et des berges et la formation de terrasses que l'on découvre à plusieurs endroits dans la vallée du Saint-Laurent.

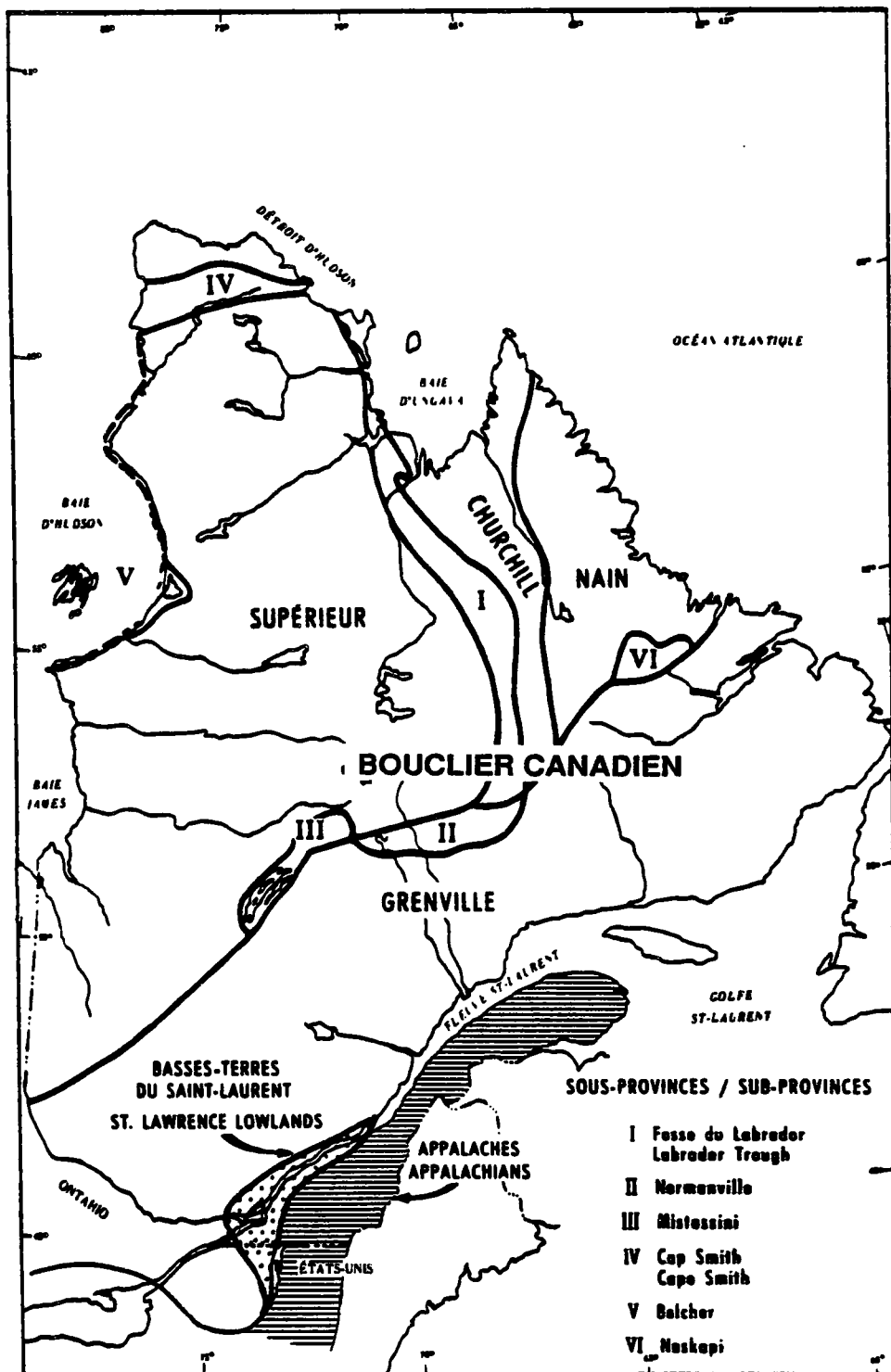


FIG. 2.1 Divisions géologiques du Québec.

Source: Géologie et richesses minérales du Québec, MRN 1969.

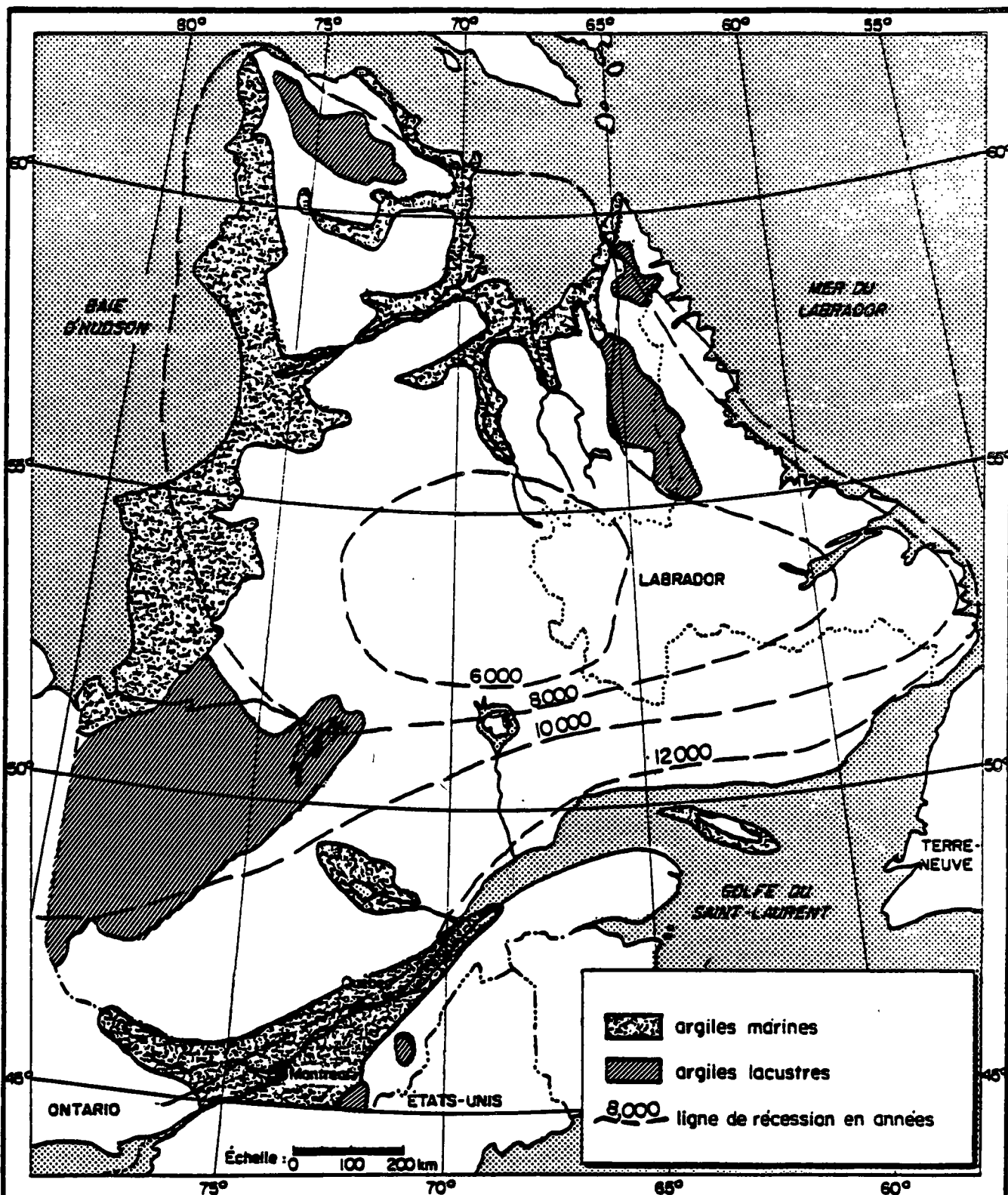


Fig. 2.3—Carte des argiles et de la dernière récession glaciaire.

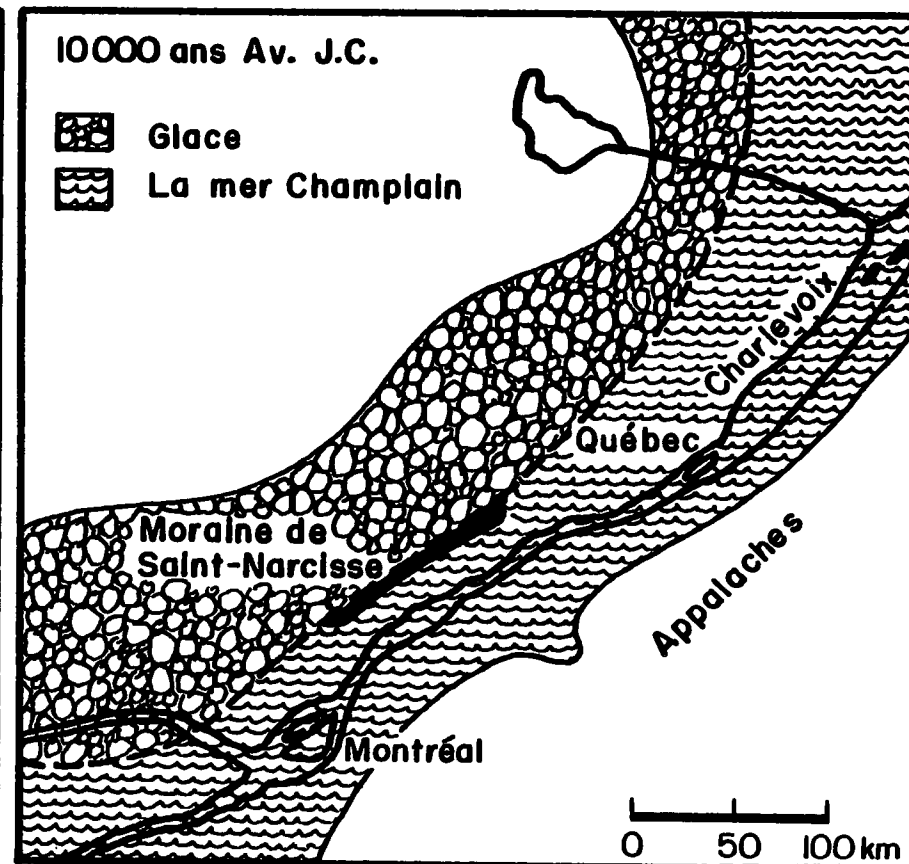
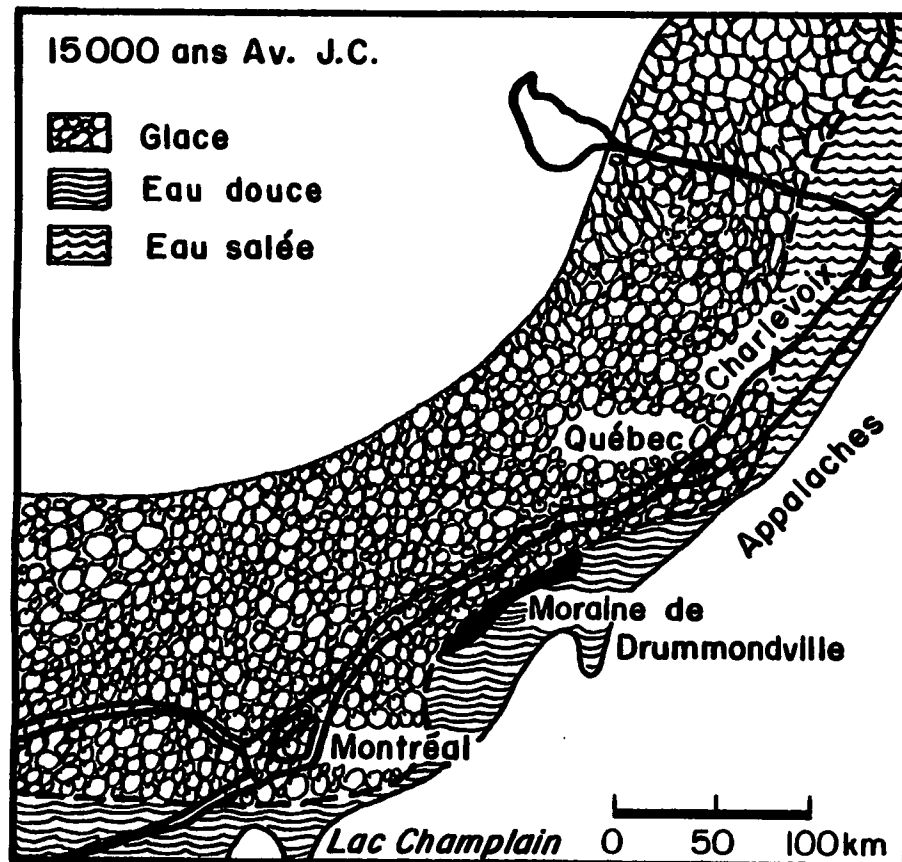


Fig. 2-2 — La mer Champlain à travers les âges.

Le fleuve n'a atteint son état actuel (voir figure 2.4) que depuis environ 3 000 à 5 000 ans après avoir façonné son chenal dans les dépôts argileux de la mer Champlain et d'autres dépôts quaternaires.

Les effets combinés des retraits et progressions des glaciers ont laissé derrière eux les Grands Lacs, les vallées fluvio-glaciaires et les nombreux plateaux parsemés de lacs. Les glaciers ont ainsi marqué l'ensemble du réseau hydrographique du fleuve en plus de former son profil actuel. Ce réseau se divise en trois grandes régions: les Grands Lacs, le fleuve proprement dit et la région maritime (figure 1.1).

La région des Grands Lacs:

Le bassin versant total qui alimente cette région est d'environ 765 000 km², soit près de 70% de l'ensemble du système de drainage du Saint-Laurent à l'entrée de l'estuaire de mélange et 60% à l'entrée du golfe (voir figure 2.5). La superficie des Grands Lacs avec 250 000 km² occupe environ le tiers du bassin versant et les 42 500 km³ (10 200 milles cubes) d'eau accumulée dans ces lacs constituent la plus grande réserve d'eau douce au monde (près de 10% du globe).

Le fleuve proprement dit:

Outre le bassin de drainage des Grands Lacs, le fleuve proprement dit, incluant l'estuaire draine une superficie d'environ 470 000 km², soit près de 40% du bassin total de drainage. Entre le lac Ontario et le Saguenay, il coule sur près de 750 km que l'on doit partager en deux tronçons principaux: l'un fluvial et l'autre estuarien.

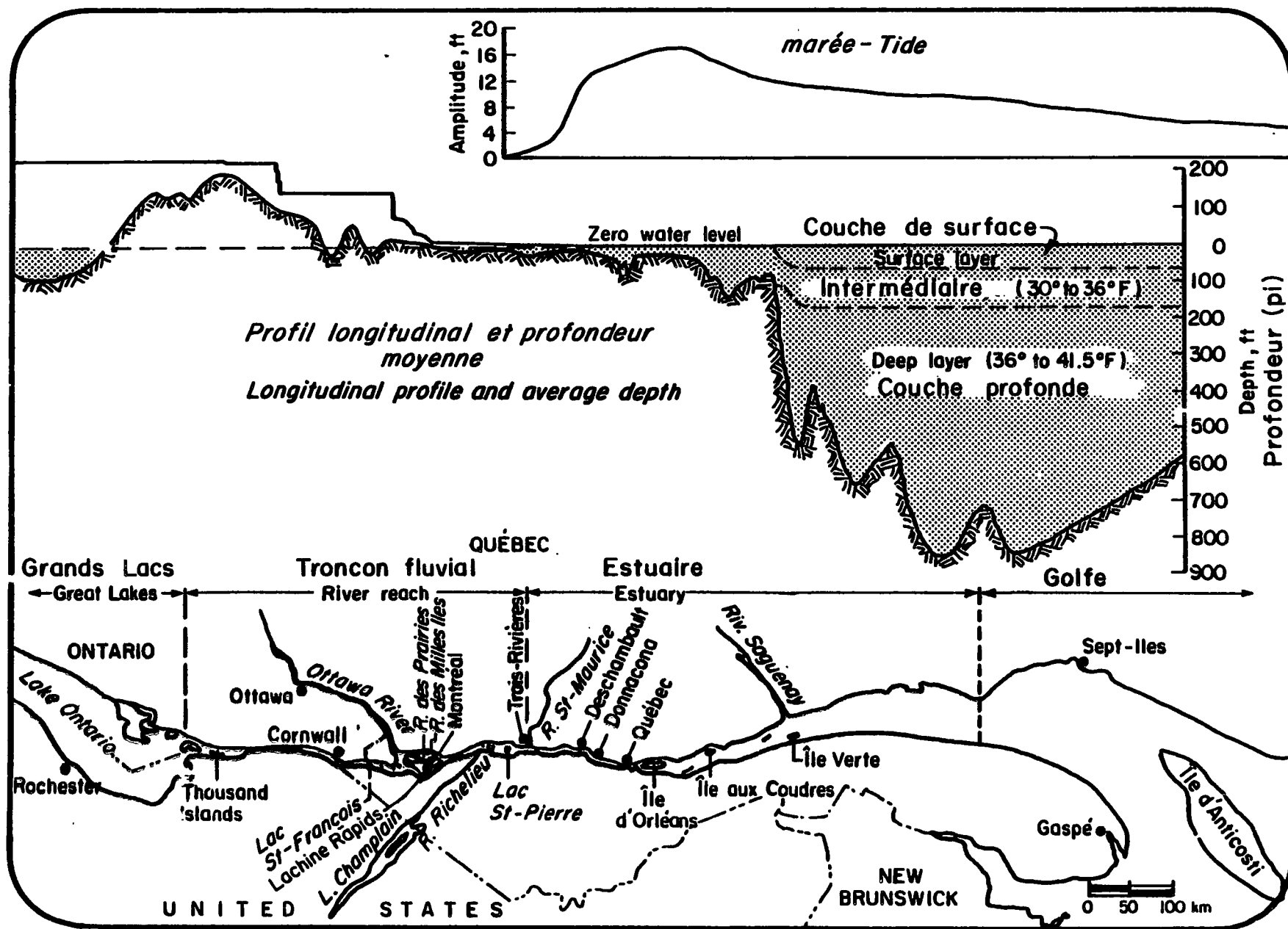


Fig. 2.4—Vue générale du Saint-Laurent

Source: Frenette, M, G.S.C. Encyclopédia (sous presse).

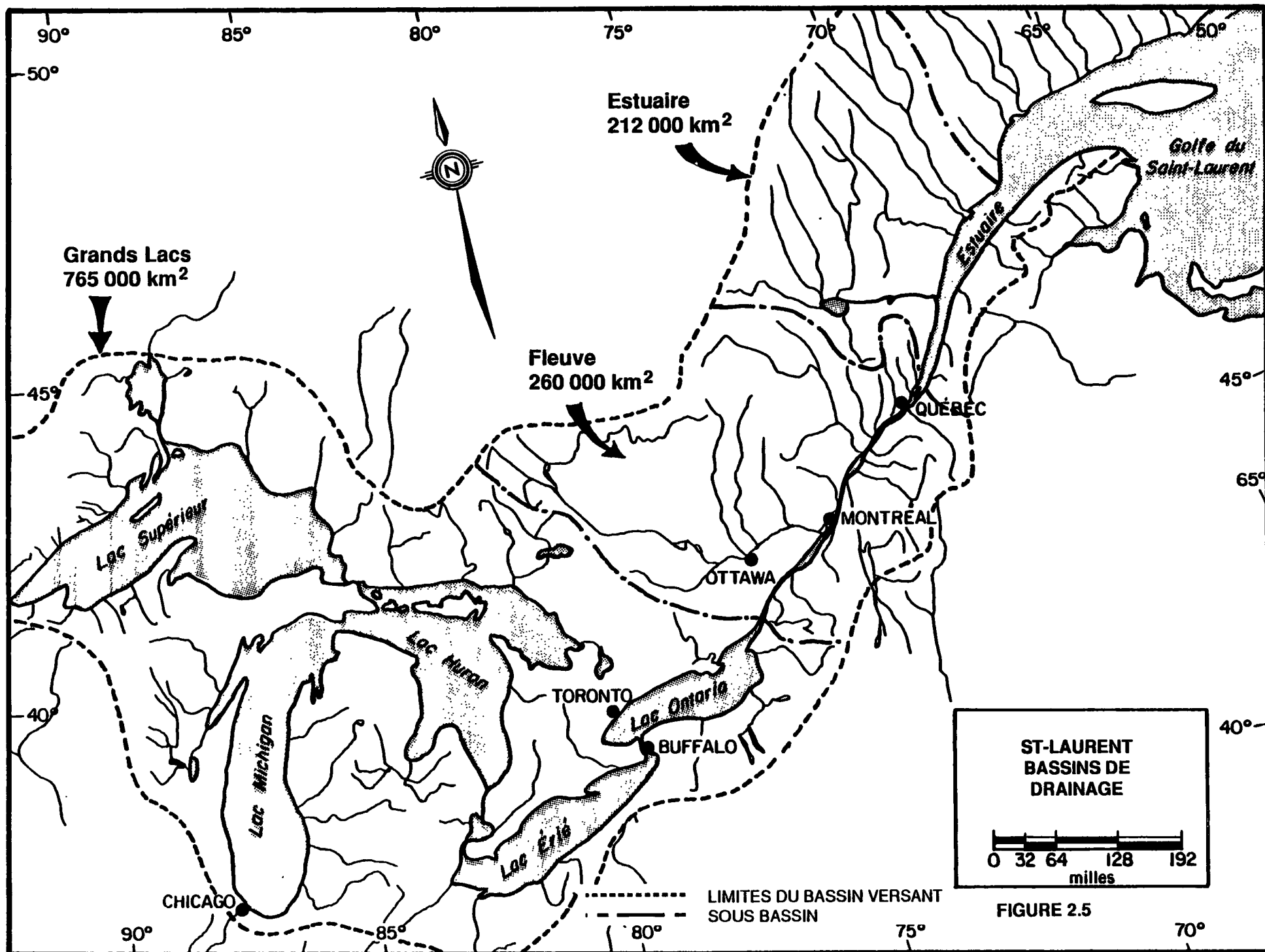


FIGURE 2.5

Le tronçon fluvial:

Ce tronçon s'étend de la sortie des Grands Lacs jusqu'à l'aval du lac Saint-Pierre et présente deux caractères distincts:

- a) D'une part, le secteur des rapides (de la sortie du lac Ontario (élévation: 73,76 m) jusqu'à Montréal, qui correspond à un lobe du Bouclier canadien qui rejoint les Appalaches à cette hauteur (voir figure 2.1), présente 60 m de dénivelé sur un parcours de 250 km, ce qui explique que cette partie du fleuve était anciennement connue pour ses rapides, tels les "rapides plats", les rapides du Long-Sault et les rapides de Lachine. Cependant, à la sortie des Grands Lacs il y a le lac Saint-Laurent créé par les barrages ~~Iroquois~~, du Long-Sault et Moses-Saunders (Cornwall) aménagés en même temps que la voie maritime du Saint-Laurent dans les années 50. Le lac Saint-François (élévation: 46,5 m) est contrôlé partiellement par les barrages Beauharnois et une série de barrages (4) à Côteau-du-Lac. Plus en aval en allant vers le lac Saint-Louis sur le cours principal du Saint-Laurent, on retrouve également des barrages de dimensions plus restreintes: Guillet, St-Thimothé, les Cèdres, Pointe-du-Buisson et Pointe-des-Cascades. Sur le plan sédimentologique, les barrages les plus importants sont certes ceux du Long-Sault et Moses-Saunders (voir photo 2) qui contrôlent avec le barrage Iroquois la totalité des débits à la sortie des Grands Lacs (crue et étiage). Par la suite il y a le barrage de Beauharnois avec un grand canal de détournement des eaux qui modifie le patron naturel d'écoulement (eau - sédiment) dans le lac Saint-Louis. Aucun affluent important ne rejoint le Saint-Laurent dans ce secteur, cependant

plusieurs cours d'eau de second ordre en provenance des Etats-Unis affectent directement le lac Saint-François en rive droite. Citons par exemple, les rivières Swegatchie, Grass, Raquette, St-Régis et Aux-Saumons. Les importants travaux hydroélectriques et l'aménagement de la voie maritime du Saint-Laurent (le premier canal de Beauharnois date de 1929) ont profondément modifié la configuration originale de ce secteur qui présentement doit autant à l'homme qu'à la nature.

- b) D'autre part, le tronçon Montréal - lac Saint-Pierre présente un caractère fluvial. On y rencontre de nombreuses îles, notamment à la hauteur de Longueuil, Boucherville, Varennes, Verchères, Contrecoeur et Sorel. L'écoulement est plus lent et on observe aussi de nombreux élargissements, tels les lacs Saint-Louis (élévation: 21,3 m), le bassin de la Prairie et le lac Saint-Pierre (élévation: 3 m). Près de 80% de la superficie des lacs ont une profondeur inférieure à 6 m, voire même moins de 3 m dans plusieurs secteurs selon la bathymétrie des fonds (voir planche no 1), alors que le chenal maritime, naturel ou dragué, présente des profondeurs de 12 m et plus (pour plus de détails, voir le chapitre sur le dragage). Les zones riveraines sont généralement planes et peu profondes, favorisant dans bien des secteurs des zones marécageuses et herbeuses.

Plusieurs affluents rejoignent le Saint-Laurent le long de ce secteur. Le premier et le plus important est la rivière des Outaouais qui, à l'aval du barrage de Carillon,

s'élargit pour former le lac des Deux-Montagnes (élévation: 22 m). De là, il se dirige vers le fleuve par un réseau d'écoulement très complexe via quatre exutoires: les rivières des Mille-Iles et des Prairies, et les chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne. Des tributaires de moindre importance (quantitativement mais non qualitativement), comme les rivières Assomption et Châteauguay, se déversent également dans le fleuve dans cette région.

A la hauteur du lac Saint-Pierre, les principaux tributaires se trouvent sur la rive sud avec les rivières Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet.

Le tronçon estuarien:

Ce tronçon qui s'étend de l'aval du lac Saint-Pierre jusqu'à Pointe-des-Monts, subit l'influence de la marée à divers degrés. Il en résulte sur les parties riveraines une zone intertidale (estran) qui varie de quelques mètres à plus de 100 mètres de largeur selon les endroits (voir carte bathymétrique). Ce tronçon peut à son tour être partagé en cinq secteurs:

- a) L'estuaire fluvial supérieur. Celui-ci couvre la région comprise entre le lac Saint-Pierre et les rapides Richelieu (face à Deschambault). L'influence de la marée se traduit par un ralentissement des vitesses et une surélévation du plan d'eau. La bathymétrie présente de grandes profondeurs naturelles en certaines régions (en aval du lac Saint-Pierre, à la hauteur de Grondines et en

aval des rapides Richelieu (Portneuf)) et quelques battures comme celles de Gentilly. Dans ce secteur, on relève la présence d'un affluent majeur, le Saint-Maurice, et quelques affluents de moindre importance comme les rivières Champlain, Batiscan et Sainte-Anne sur la rive nord, et la rivière Bécancour sur la rive sud. L'amplitude moyenne des marées varie de 0,3 m à la hauteur de Trois-Rivières à 4 m en aval des rapides de Richelieu (Portneuf).

- b) L'estuaire fluvial inférieur. La région comprise entre les rapides Richelieu et l'île d'Orléans subit très fortement l'influence de la marée d'eau douce qui peut atteindre des valeurs aussi élevées que 6,5 m (valeurs moyennes 4,9 m). Il en résulte un renversement total du courant sur toute la profondeur de l'écoulement, même dans les grandes profondeurs comme à Québec (60 m). Les marées ont également pour effet de former en aval des rapides Richelieu de larges zones intertidales notamment à la hauteur de l'anse de Cap-Santé (voir planche no 1). On remarque au surplus que les écoulements sont totalement concentrés dans le chenal maritime dans le secteur des rapides Richelieu à marée basse. Ce secteur se termine à l'île d'Orléans qui partage l'écoulement en deux parties, dont le bras sud (90% du débit) sert de support à la navigation.

Il n'existe aucun tributaire majeur dans ce secteur et, parmi ceux de second ordre, notons sur la rive nord les rivières Portneuf, Jacques-Cartier, Saint-Charles, Montmorency et Sainte-Anne-du-Nord et sur la rive sud, les rivières Chaudière et Etchemin.

- c) L'estuaire moyen supérieur. Ce secteur s'étend de l'île d'Orléans à l'île aux Coudres et il est caractérisé par la région de mélange entre les eaux douces et les eaux salées. C'est aussi dans ce secteur que la configuration du fleuve change rapidement. La largeur passe de quelques kilomètres à l'île d'Orléans à 20 kilomètres à la hauteur de l'île aux Coudres. De plus, la bathymétrie change radicalement; la rive sud présente de nombreux hauts-fonds et elle est parsemée d'îles, alors que l'on observe du côté nord les profondeurs les plus grandes et le chenal principal.
- d) L'estuaire moyen inférieur. Cette région s'étend de l'île aux Coudres au Saguenay. Elle est principalement caractérisée par des eaux plutôt stratifiées avec la présence d'eau salée en provenance du Golfe en profondeur et d'eau douce des tributaires riverains en surface. D'autre part, cette région présente une bathymétrie qui répond au prolongement de celle du secteur fluvial.
- e) L'estuaire maritime. Ce dernier correspond à la région d'eau salée du Golfe avec des couches d'eau douce en surface, mais présente une bathymétrie similaire au Golfe plutôt qu'au secteur fluvial. Les deux dernières régions, soit l'estuaire moyen inférieur et maritime subissent l'influence du Saguenay, tandis que l'estuaire maritime est influencé en plus par la rivière Manicouagan.

III SOMMAIRE HYDROLOGIQUE

Selon les dernières statistiques d'Environnement Québec (1988), la répartition des apports d'eau douce (fluvial) du Saint-Laurent se résume comme suit (débits moyens annuels):

Cornwall (sortie des Grands Lacs)	7 296 m ³ .s ⁻¹
Lachine (Montréal)	10 032 m ³ .s ⁻¹
Trois-Rivières	11 598 m ³ .s ⁻¹
Québec	12 088 m ³ .s ⁻¹
Tadoussac	14 120 m ³ .s ⁻¹
Baie Comeau	16 012 m ³ .s ⁻¹

La fluctuation à court terme du débit liquide à Cornwall, oscillant autour de 7 300 m³.s⁻¹, demeure assez faible à cause du contrôle naturel des Grands Lacs, et de la régularisation artificielle créée par les barrages Iroquois, Moses-Saunders et du Long-Sault.

La fluctuation à long terme des Grands Lacs est plus marquée, ayant connu un creux au début des années 60 avec un débit moyen annuel à Cornwall aussi faible que 5 530 m³.s⁻¹ et un sommet en 1972-74 de près de 9 000 m³.s⁻¹. La figure 3.1 montre le débit moyen annuel du fleuve à Cornwall de 1960 à 1985 et la figure 3.2A l'oscillation des débits entre 1979 et 1987. Sur une base mensuelle les mois d'avril et mai présentent les caractéristiques hydrologiques les plus élevées, le maximum atteint à Cornwall étant près de 10 000 m³.s⁻¹ en 1976. Les minima surviennent en janvier et février présentant les débits les plus bas avec des valeurs inférieures à 7 000 m³.s⁻¹.

La fluctuation marquée des apports des tributaires, suite à l'accumulation hivernale et à la fonte printanière, constitue l'événement hydrologique dominant qui influence la dynamique du fleuve notamment près des rives dans les zones d'influence des affluents.

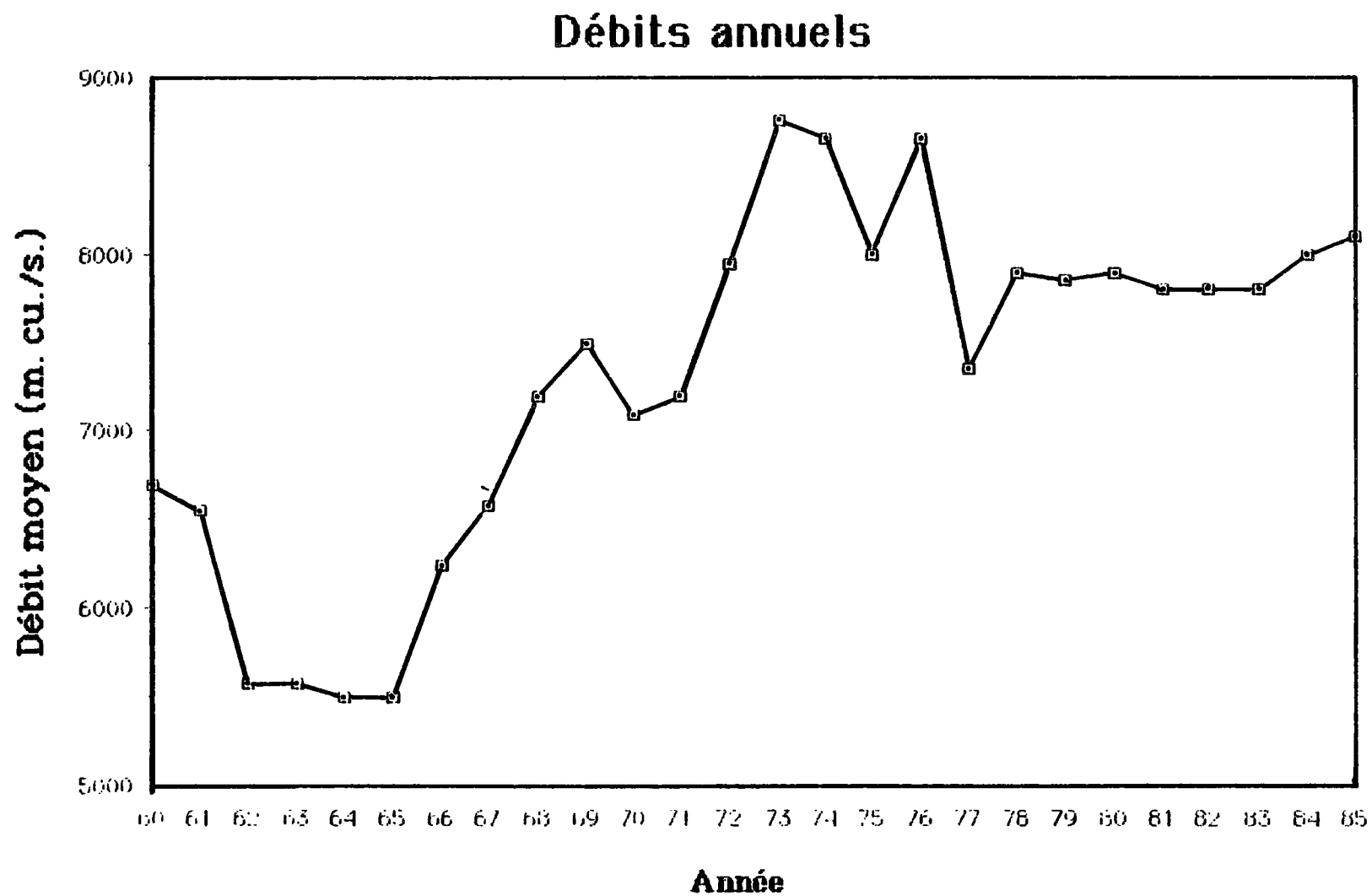


Fig. 3.1 — Débit moyen du fleuve à Cornwall entre 1960 et 1985

(Données: MENVIQ, 1988.)

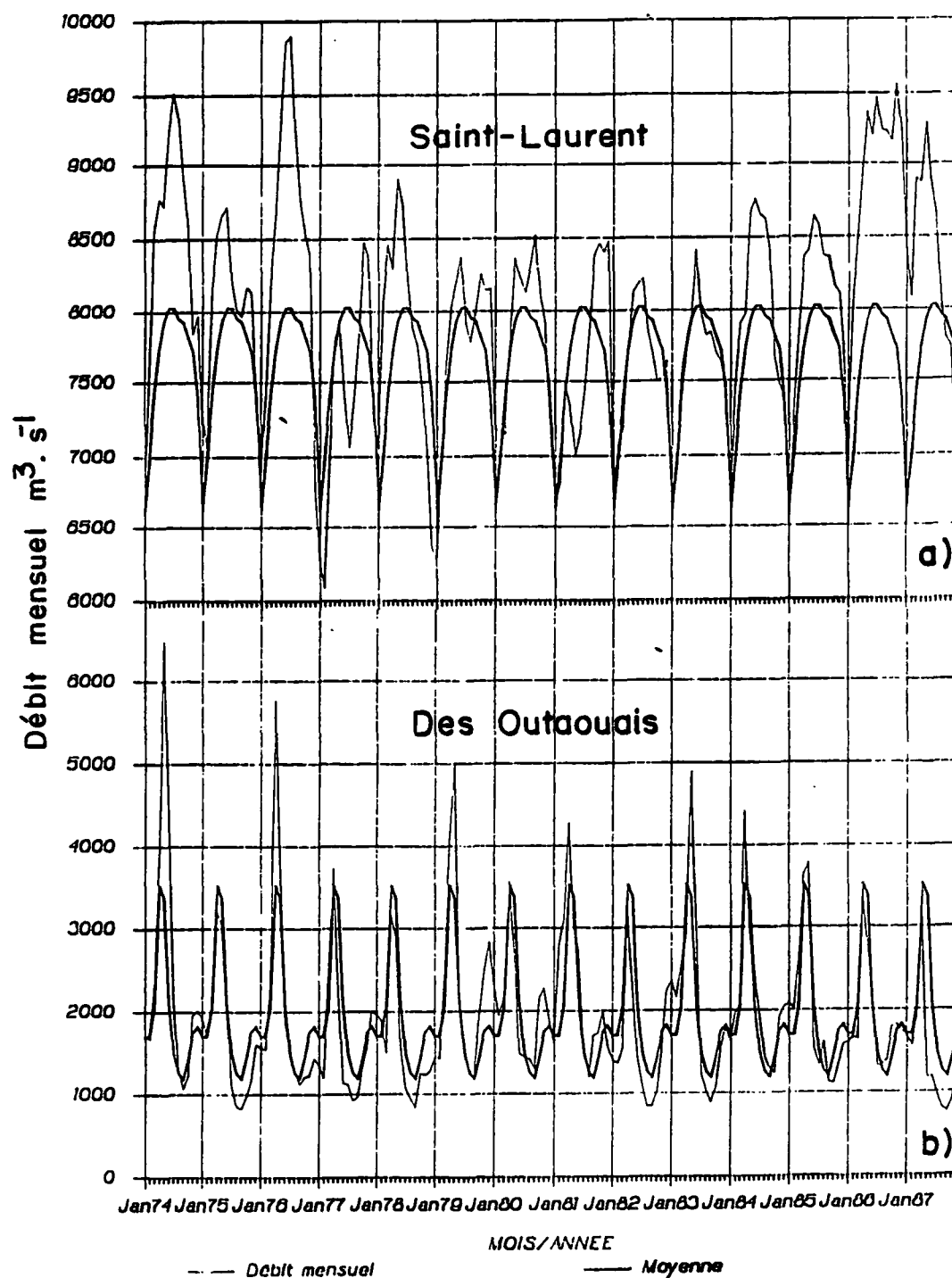


Fig. 3.2 — Variations des débits mensuels à Cornwall et à Carillon entre 1974 et 1987

Source: A. Carpentier MENVIQ 1988.

Le tableau I qui suit, fournit un bon éclairage de l'apport moyen de chaque tributaire. On remarquera en particulier que l'augmentation du débit de fleuve provient principalement d'un nombre restreint de tributaires (5) dont la rivière des Outaouais partiellement régularisée à environ $2\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (27%), avec des écarts variant entre $800\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $6\,500\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (figure 3.2b), le Saint-Maurice avec un débit moyen de près de $700\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (10%), le Richelieu avec un débit de l'ordre de $375\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (5%), le Saguenay avec un débit autour de $1\,450\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (19%) et la rivière Manicouagan, dont le débit moyen annuel est d'environ $860\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (12%).

La crue des eaux joue un rôle important sur le régime hydrodynamique et sédimentologique du fleuve, surtout sur la dynamique des fonds. C'est ainsi par exemple que la rivière des Outaouais a déjà atteint en crue extrême des débits journaliers de $9\,230\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (avril 1951) et $8\,190\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (avril 1976) soient des débits équivalents ou supérieur à celui du Saint-Laurent à Lasalle. Le Saint-Maurice a atteint une pointe de crue de $3\,900\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, soit près de 50% du débit du Saint-Laurent. Les plus grandes crues à Lasalle ont été observées en 1951 ($14\,300\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) et en avril 1974 et 1976 ($14\,500\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). Nul doute qu'en pareilles circonstances la dynamique des écoulements, influencée en particulier par la rivière des Outaouais affecte les mécanismes de mélange des eaux et des sédiments des tributaires avec celles des Grands Lacs, de même que la mobilité des fonds.

Les marées jouent également un rôle important dans l'hydrologie et la dynamique du fleuve. Par exemple, le débit de marée, considéré comme nul au niveau du lac Saint-Pierre, atteint en moyenne $55\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour un débit total de près de $70\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à la hauteur de Québec, soit cinq fois le débit fluvial à Lasalle. En aval de Québec, le débit de marée domine davantage, si bien que les apports d'eau douce perdent pratiquement toute influence sur les niveaux de l'eau.

Tableau 1

CONTRIBUTION DES TRIBUTAIRES AU DEBIT DU
SAINT-LAURENT A PARTIR DE CORNWALL

TRIBUTAIRE		DEBIT*	APPORT RELATIF
		m ³ /s	%
amont	Saint-Laurent à Cornwall	7 296	-
	Outaouais	1 968	27
	Des Prairies	1 092	-
	Milles-Iles	222	-
	Châteauguay	39	<1
	L'Assomption	79	1
	Richelieu	374	5
	Yamaska	87	1,2
	Maskinongé	20	<1
	Saint-François	219	3
	Du Loup (rive nord)	26	<1
	Nicolet	77	1
	Saint-Maurice	713	10
	Bécancour	64	<1
	Batiscan	105	1,4
	Sainte-Anne (rive nord)	86	1,2
	Jacques-Cartier	74	1
	Chaudière	137	2
	Etchemin	35	<1
	Montmorency	35	<1
	Du Sud	49	<1
	Du Gouffre	22	<1
	Malbaie	38	<1
	Ouelle	18	<1
	Sainte-Anne-du-Nord	30	<1
	Du Loup (rive sud)	19	<1
	Saguenay	1 440	19
	Trois-Pistole	18	<1
	Rimouski	32	<1
	Matane	42	<1
	Manicouagan	862	12
	Sainte-Anne-des-Monts	34	<1
aval	Moisie	453	6

*Débit moyen annuel

Source: Données Menviq, 1988.

Néanmoins, les apports d'eau douce vont influencer les mécanismes de mélange dans l'estuaire d'eau saumâtre, à cause des effets densimétriques reliés à la température et aux types d'eau (l'eau salée étant plus dense que l'eau douce). L'effet (voir figure 2.4) est plus ressenti cependant en aval surtout avec l'arrivée du Saguenay et de la rivière Manicouagan. Une stratification horizontale eau douce-eau salée est ainsi observée dans l'estuaire maritime associée directement aux deux cours d'eau majeurs de la région.

IV

HYDRODYNAMIQUE

L'étude des paramètres hydrodynamiques ne constitue pas en soi une recherche fondamentale, ces paramètres étant les premiers indicateurs de la dynamique du milieu en servant de mesure de soutien nécessaire à l'étude du transport solide, à l'étude de la diffusion des eaux et à la détermination des zones potentielles d'érosion, de transport solide et de sédimentation.

4.1 Dynamique du milieu hydrique

4.1.1 Régime des vitesses

Tout le long du fleuve, à cause des rapides, des lacs, des corridors de mélange, des îles, des chenaux et de la marée, les vitesses varient selon les tronçons. Frenette et al. (1974) ont établi une première caractérisation intégrée des vitesses du fleuve, en rapport avec les débits d'été. Soucy et al. (1975) ont par ailleurs établi le régime préliminaire des vitesses et de la zone de turbidité en aval de Québec.

Les campagnes de relevés effectuées par CENTREAU en 1972, 1973, 1974 suivies d'autres mesures effectuées par Transport Canada, Environnement Québec, Hydro-Québec (dans le cadre des projets Archipel et Gentilly) etc. ont permis de fournir un premier éclairage sur l'hydrodynamique du Saint-Laurent tel que montré sur la planche 2. Rappelons cependant que la plupart des relevés ont été réalisés l'été et ne représentent pas ainsi l'hydrodynamique du Saint-Laurent en périodes de crues, pendant lesquelles la dynamique des fonds est la plus marquée. Néanmoins, des modèles mathématiques (2-D) ont été réalisés dans le cas du lac Saint-Louis en crue et en étiage (Hydro-Québec) et le lac Saint-Pierre en étiage (Environnement Québec), ce qui donne un aperçu de l'importance des crues sur le régime hydrodynamique.

La diversité des tronçons (lacustres, rapides, corridors fluviaux et maritime) détermine une grande variation dans la nature des écoulements. La sortie du barrage de Beauharnois dans le lac Saint-Louis, les rapides de Lachine, le chenal sud du tronçon Varennes-Sorel, les rapides Richelieu (Deschambault), et tout l'estuaire central depuis Deschambault jusqu'à l'île d'Orléans constituent les zones de plus grandes vitesses. Comme le montre la planche no 2, dans le chenal maritime, les vitesses sont toujours supérieures à $0,60 \text{ m.s}^{-1}$, sauf dans les lacs, bien que demeurant au-dessus de $0,30 \text{ m.s}^{-1}$. Dans bien des secteurs, comme en aval du barrage Moses-Saunders (Cornwall), en aval de Montréal et dans tout le tronçon estuarien (à partir du lac Saint-Pierre), les vitesses dépassent $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ en étiage. Les maxima apparaissent sous le pont de Québec et dans les régions de l'estuaire de mélange où les vitesses au flot et jusant dépassent 2.5 m.s^{-1} . Les plus fortes vitesses, principalement concentrées au centre du fleuve, véhiculent en grande partie les eaux et les sédiments très fins provenant des Grands Lacs. Elles permettent difficilement la sédimentation, d'autant plus que la navigation maritime a pour effet de générer une turbulence additionnelle due aux hélices de bateaux.

A l'opposé, près des rives, et dans les secteurs lacustres, les vitesses diminuent et oscillent entre $0,10$ et $0,30 \text{ m.s}^{-1}$. Dans les secteurs bien abrités comme dans les baies, les îles (ex.: Sorel), les ports et les marinas les vitesses ne dépassent guère $0,10 \text{ m.s}^{-1}$. Il va de soi que ce sont les secteurs les plus affectés par la déposition de sédiments fins.

Pour les lacs Saint-Louis et Saint-Pierre, la planche no 2 montre les résultats des vitesses d'écoulement concernant les plages de vitesses suivantes:

Vitesse		Potentiel de sédimentation
< 0,15	- 0,15 m.s^{-1}	élevé
0,15	- 0,30 m.s^{-1}	moyen
0,30	- 0,60 m.s^{-1}	nil
0,60	- < 0,60 m.s^{-1}	nil

effet
navigation
compte tenu
de la navigation

Pour le lac Saint-Louis, les résultats de modélisation mathématique par Hydro-Québec montrent deux gammes de débits à Lasalle: $8\,400\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $14\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et pour le lac Saint-Pierre, un seul, soit $9\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Il est particulièrement intéressant de noter l'influence des crues dans le lac Saint-Louis qui réduit sensiblement les zones de sédimentation de potentiel élevé. Celles-ci peuvent donc être constituées des zones de sédimentation temporaires (base saisonnière ou annuelle).

Par exemple, au lac Saint-Louis, pour un débit de $8\,400\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, la plage de vitesses de 0 à $0,15\text{ m.s}^{-1}$ s'étend pratiquement jusqu'au chenal maritime, en recouvrant l'ensemble des îles de la Paix en rive droite et plus de 50% du lac en rive gauche (voir planche no 2), tandis que pour un débit de $14\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, seule la zone à l'intérieur des îles de la Paix et une bande riveraine autour de l'île Perrot et en bordure de l'île de Montréal présentent des conditions d'eau calme; tout le reste étant sujet à des mouvements de fond. Il faut de plus garder à l'esprit que les secteurs les plus propices à la sédimentation sont également les moins profonds, donc les plus sujets aux effets de vent, tant et si bien qu'en conditions extrêmes (forte crue, fort vent ou effets combinés) il reste très peu de secteurs totalement abrités, c'est-à-dire permettant une sédimentation permanente (voir le chapitre sur les vents).

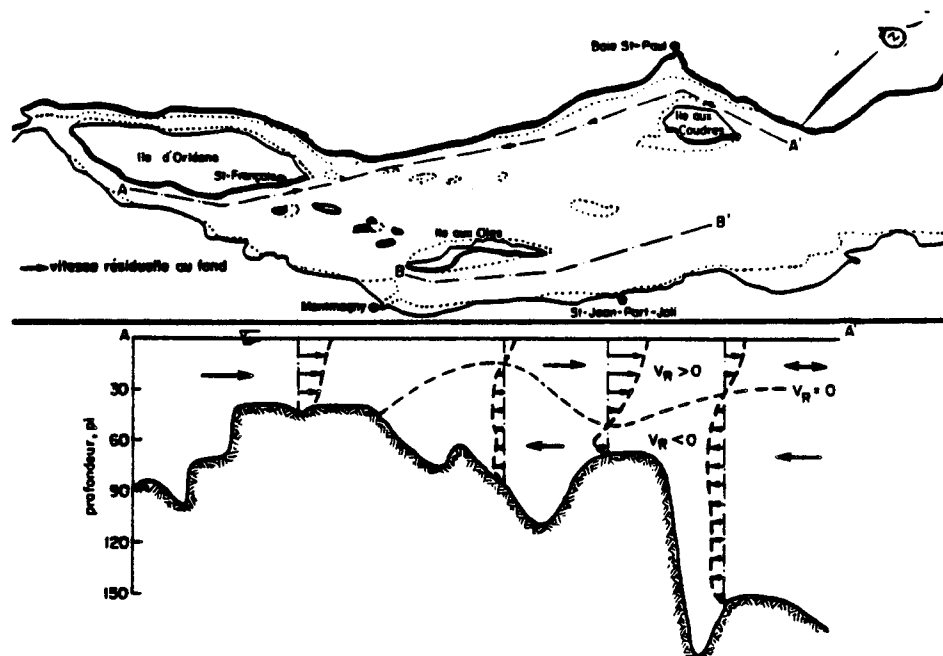
Malheureusement, aucune donnée similaire n'existe pour le lac Saint-François. Quant au lac Saint-Pierre, seules des données moyennes existent, mais les mêmes commentaires s'appliquent. Les plages de vitesses de 0 à $0,15\text{ m.s}^{-1}$ obtenues en période normale sont naturellement réduites lors des grandes crues, et ce sont par contre les zones les plus sujettes à l'érosion causée par les vagues.

4.1.2 Temps de parcours

D'après le régime de vitesse, le temps moyen de parcours des eaux dans le chenal maritime entre Cornwall et Portneuf (région non soumise au renversement de courant) est très court, soit près de 4 jours (101 heures), pouvant cependant s'étendre jusqu'à 6 ou 7 jours en période d'étiage extrême. En aval de Portneuf jusqu'à l'estuaire de mélange (île d'Orléans), le temps de parcours est fortement associé aux cycles de marée et aux mouvements de va-et-vient des courants. Les vitesses résiduelles conduisent à un temps de séjour de l'ordre de deux jours (quatre à cinq cycles de marées) mais les vitesses de pointe au flot et au jusant ne laissent aucune possibilité à la sédimentation sauf pour quelques heures à l'étape haute ou dans les secteurs bien abrités comme en aval du quai de Portneuf. Dans la zone de mélange, soit entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres, les vitesses de pointe au flot et au jusant sont très élevées, par contre les vitesses résiduelles sont faibles et au surplus stratifiées, comme le montre la figure 4.1, ce qui explique à la fois la présence d'un bouchon de turbidité et peu de fond vaseux, sauf dans les secteurs protégés (voir chapitre sur la nature des fonds).

Près des rives toutefois, à cause des caprices de la topographie du fleuve et de la formation des couloirs d'écoulement, le temps de parcours des eaux des tributaires peut être prolongé de quelques heures ou de quelques jours (maximum: 2 jours) dépendant de la localisation des affluents par rapport à l'estuaire.

De façon à avoir une meilleure indication de la dynamique des lacs, nous avons établi les temps de séjour des élargissements fluviaux du système Saint-Laurent. Les valeurs obtenues sont:



—SCHEMA DE L'ÉCOULEMENT RÉSIDUEL ET GRADIENT DES VITESSES RÉSIDUELLES DANS LE CHENAL NORD ET LE BRAS SUD DE L'ILE D'ORLÉANS, FORTE AMPLITUDE DE LA MARÉE.

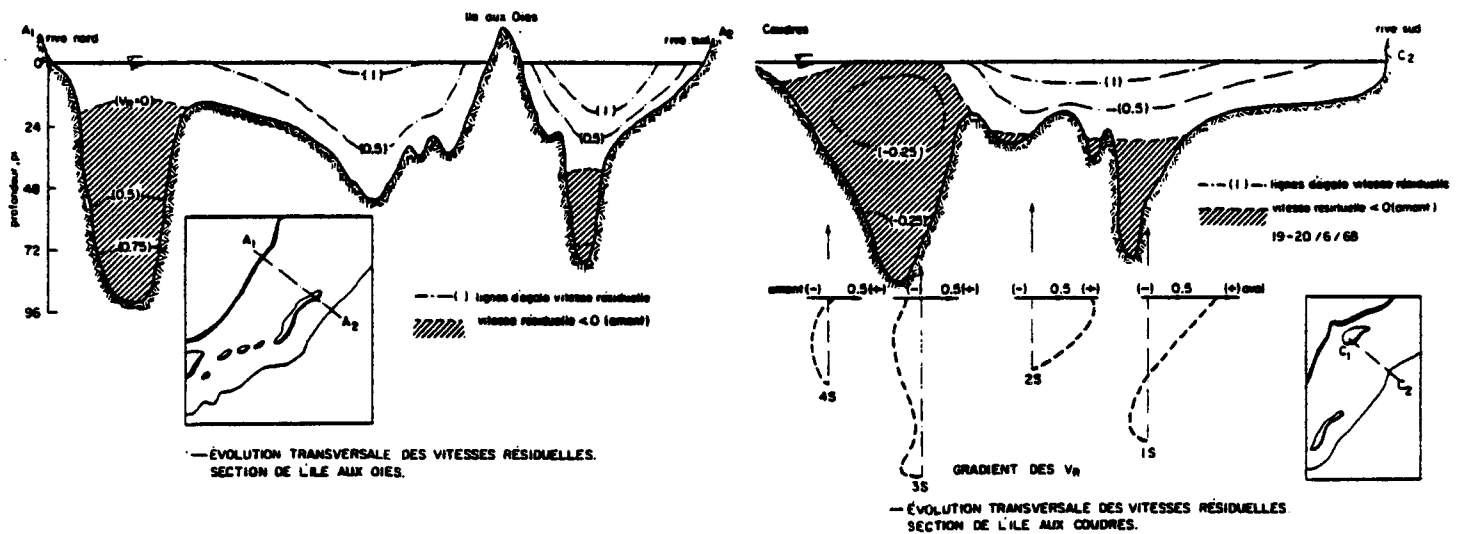


Fig. 4.1— Vitesses résiduelles dans l'estuaire de mélange du Saint-Laurent.

Source : Centreau, Université Laval, 1976

Lacs	Temps de séjour Heures
Saint-Laurent*	216 (9jrs)
Saint-François	32
Saint-Louis	12
Saint-Pierre	20

* En amont de Cornwall

Conséquemment, tout contaminant associé à la phase dissoute ou à la phase particulaire réside à peine quelques jours dans le couloir fluvial du fleuve avant d'atteindre rapidement l'estuaire d'eau mélangée.

C'est donc dans les zones à fort potentiel de sédimentation que les contaminants résident le plus longtemps sur les fonds, dépendant de la mobilité de ceux-ci en périodes normales de crue et d'étiage. Certains fonds sont cependant soumis aux effets saisonniers (grandes crues, effets de marée, glaces et vents), si bien que les dépôts peuvent être permanents ou semi permanents sur une base saisonnière ou annuelle. Les grandes crues de 1974, 1976 et 1982, et les forts vents de l'automne 1988 ont certainement contribué à remettre en suspension de grandes quantités de sédiments préalablement déposés dans les lacs sur les battures ou ailleurs dans le Saint-Laurent.

A l'opposé, les temps de renouvellement (ou de séjour) des eaux dans Les Grands Lacs sont nettement plus élevés, à savoir:

Plan d'eau	Surface km ²	Volume km ³	Temps de séjour (année)
Lac Supérieur	85 500	11 912	180,3
Lac Michigan	58 000	4 860	102,7
Lac Huron	63 500	3 434	20,5
Lac Érié	25 800	483	2,7
Lac Ontario	19 300	1 638	7,2

Réf.: Environnement Canada (1984)

Conséquemment, les vitesses d'écoulement dans les Grands Lacs peuvent être considérées comme nulles, traduisant alors un potentiel élevé de captage de sédiments, bien que les particules colloïdales et la matière organique peuvent transiter dans les lacs, surtout dans les lacs Érié et Ontario.

4.1.3 Vents

Selon les saisons, le Saint-Laurent est balayé par des vents dominants du sud-ouest et du nord-est ou de l'est. La figure 4.2 présente la rose des vents pour les régions de Mont-Joli, Québec et Montréal.

Comme on peut le constater, les deux orientations dominantes des vents s'ajustent avec l'axe longitudinal du Saint-Laurent, particulièrement au grand axe des lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre, laissant ainsi

plus d'emprise à la formation des vagues. La vitesse moyenne des vents lors des tempêtes est estimée à 40 km.h^{-1} bien que des vents de 60 à 80 km.h^{-1} sont fréquents sur le fleuve.

Une évaluation première de la hauteur normale des vagues hors chenal créées par des vents de 40 km.h^{-1} * sur les principaux lacs donne:

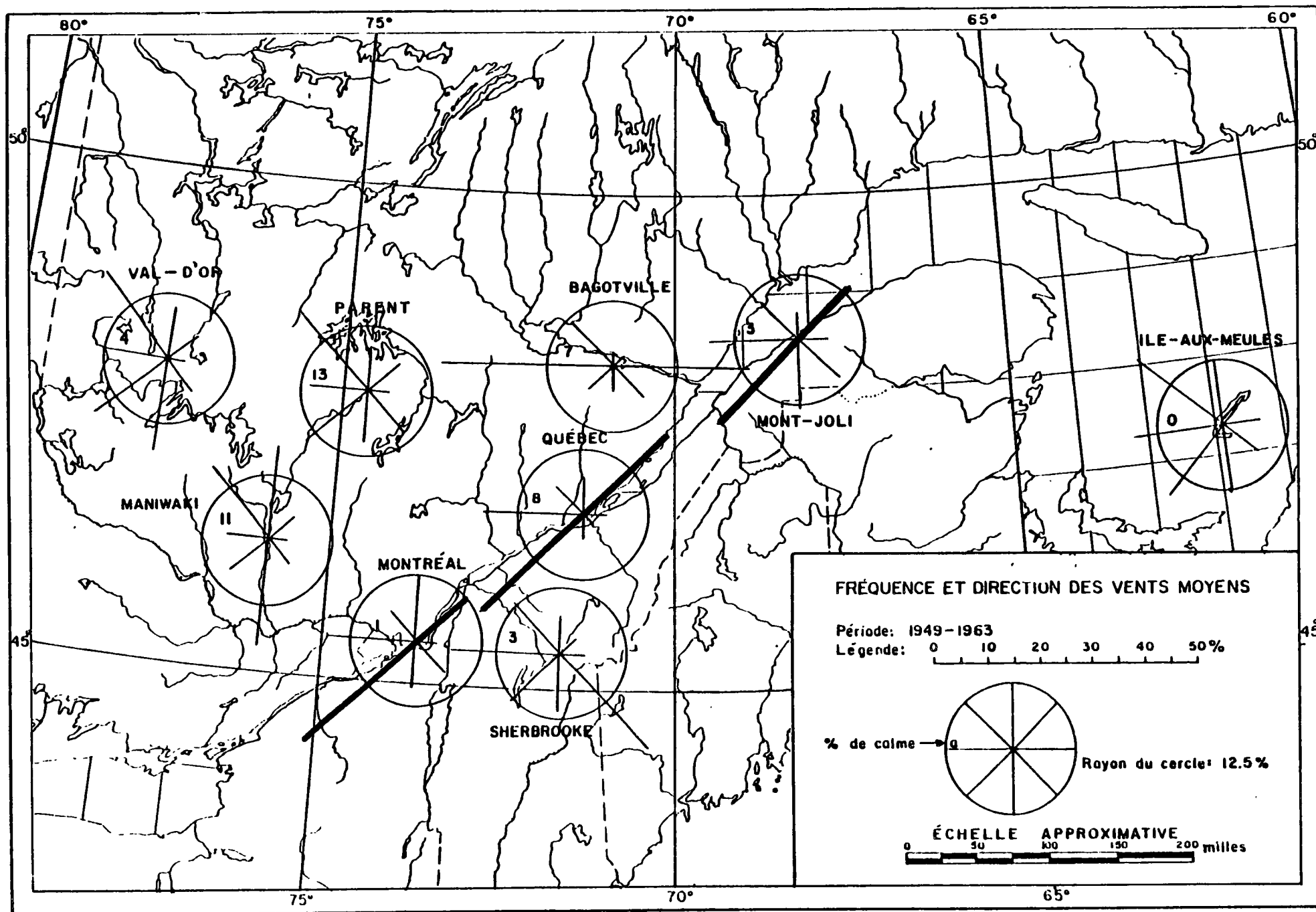
<u>Lac</u>	<u>Hauteurs significatives des vagues (mètres)</u>
Saint-François	0,70 à 1,4
Saint-Louis	0,55 à 1,25
Saint-Pierre	0,60 à 1,10

* Pour des vents de 80 km.h^{-1} , la hauteur double pratiquement.

En eau profonde comme dans le chenal maritime, la hauteur des vagues est nettement plus élevée pouvant dépasser les 2 mètres. Les courants de fond générés par les vagues sont donc relativement importants dans les zones de faibles profondeurs. Ainsi, les premiers calculs et les observations courantes démontrent que l'érosion éolienne des fonds survient normalement dans les conditions suivantes sur l'ensemble des lacs du Saint-Laurent:

. Limon (silt et argile récente)	$h < 2,5 \text{ m}$
. Sable	$h < 1,8 \text{ m}$

Pour des conditions extrêmes (ex.: vent de 80 km.h^{-1}), il va de soi que les courants de fond générés par les vents se font sentir sur de



(Service de la météorologie, Québec)

Fig. 4.2

plus grandes profondeurs. Il y a lieu de plus, d'ajouter que les fonds ont également un effet inverse sur la houle (shoaling effect) dont l'influence est d'augmenter l'amplitude des vagues et de générer des déferlements, phénomène qui accentue davantage la remise en suspension près des rives. Il faut aussi prendre en compte le phénomène de marée puisqu'alors l'effet des vagues déferlantes se fait sentir sur l'ensemble des zones intertidales. La région des battures de Gentilly et des estrans, de part et d'autre du chenal maritime en aval des rapides Richelieu, sont ainsi fortement influencées par la combinaison des trois phénomènes: courants, marée et vagues.

4.1.4 Conclusion

L'hydraulique joue un rôle important dans la dynamique sédimentaire du fleuve, car on doit y associer directement la nature des fonds (graviers, sables, silts, argiles)* et la mobilité des fonds (zones d'érosion, de transport et de sédimentation) de même que les mécanismes de déplacement des particules fines sur les fonds ou en suspension, en provenance des tributaires et des effluents urbains et industriels, ou lors des opérations de dragage et de remise à l'eau. La plupart des relevés hydrauliques sur le Saint-Laurent ont été réalisés de façon très sporadiques et en fonction de projets spécifiques. La seule intégration générale remonte aux années 1974-75 en rapport avec les études réalisées dans le cadre du protocole d'entente sur le Saint-Laurent. La carte-synthèse (planche 7) à la fin du rapport, vise à fournir un nouvel éclairage sur la mise à jour de l'information.

* A noter que certaines sections du fleuve sont non-alluviales (dépôts quaternaires lessivés) et le lien avec l'hydraulique n'est que partiel alors.

L'hydrologie et l'hydraulique du fleuve sont par ailleurs étroitement liés à la formation des couloirs de mélange. En effet, l'eau du fleuve n'est pas homogène (voir chapitre suivant) et les masses d'eau que l'on retrouve dans chaque couloir d'écoulement (incluant les sédiments) fluctuent en fonction du temps et de l'espace, de sorte que le fleuve possède une dynamique sédimentaire très complexe dont les principaux agents responsables sont: la fluctuation des débits en fonction des saisons, la marée, les vents, les glaces, l'alternance des lacs et des rapides, les battures, les îles et les singularités locales comme l'île aux Sternes et les quais de Bécancour et de Portneuf. L'interaction dynamique "eau-sédiment" associée à la dimension et à la diversité du fleuve demeure pour le moment très obscure, sauf pour le lac Saint-Louis (connue partiellement).

Les mesures directes sur le terrain des vitesses et des couloirs de mélange, l'utilisation de modèles réduits, les mesures indirectes (photos aériennes ou images satellites) ont été des instruments privilégiés utilisés jusqu'à maintenant.

Les quelques modèles mathématiques généraux développés sur l'écoulement des eaux du Saint-Laurent ne répondent pas à la dynamique de l'ensemble tant en terme de quantité que d'évolution des sédiments en suspension et sur les fonds.

En somme, tout le contexte de la qualité du milieu et de l'équilibre des écosystèmes (eau, sédiments, mélange des affluents et des effluents, les opérations de dragage et de rejet en eau libre, la gestion des fonds contaminés, la stabilité des habitats fauniques sont intimement liés aux régimes hydrologique, hydrodynamique et de mélange des eaux et des sédiments du Saint-Laurent.

4.1.5 Recommandations

Considérant l'importance de caractériser le régime des vitesses sur l'ensemble du fleuve en fonction des saisons (crue, module, étiage) et en fonction des marées il est recommandé:

- de compléter l'intégration sur le régime des vitesses et des courants en fonction des débits et des saisons incluant les processus de mélange des eaux associés à la dynamique sédimentaire;
- d'identifier les singularités et contraintes externes comme les quais, les îles, les hauts fonds etc. les plus susceptibles d'influencer la dynamique des fonds et les processus de mélange "eau-sédiment" dans chaque couloir d'écoulement, en particulier dans les secteurs contaminés du fleuve;
- de mettre au point un modèle mathématique hydro-sédimentologique (tridimensionnel) prenant en compte la dynamique des eaux et des sédiments (suspension et fond) pour les secteurs prioritaires suivants: lac Saint-François, lac Saint-Louis (à compléter), lac Saint-Pierre incluant le delta de Sorel, le lac des Deux-Montagnes et l'estuaire de mélange à partir de l'île d'Orléans;
- de calibrer le modèle sur des données existantes et, en cas de besoin, sur des relevés spécifiques spatio-temporels dans les divers secteurs.

4.2 Mélange et dispersion des eaux

4.2.1 Historique des relevés

Les caractéristiques du fleuve relatives à la diffusion et au mélange des eaux étaient encore inconnues, il y a quelques années. Auparavant plusieurs croyaient que les eaux du fleuve représentaient une masse homogène uniforme et que la marée avait une influence limitée au voisinage de la surface sans modification importante de l'écoulement des eaux en profondeur.

Les premiers relevés sur le terrain dans les années 70 ont montré une image tout à fait différente et un comportement très complexe. Il a alors été démontré que le comportement "mélange et diffusion des eaux" était influencé par de nombreux facteurs dont les principaux se résument ainsi:

- alternance des rapides avec des écoulements lents (lacs);
- largeur et profondeur très variables (bathymétrie);
- présence de battures;
- présence de la marée;
- renversement de courant;
- variation du débit en fonction du temps;
- forte turbulence;
- macro-turbulence due aux nombreuses singularités.

Une première campagne de mesures en 1971 (Verrette pour Piette et Ass.) a permis de simuler le déversement des eaux usées de la région de Québec en vue d'établir la position du panache en fonction du temps et de l'espace. Les résultats ont démontré qu'une partie importante de la masse centrale des eaux du fleuve présentait des caractéristiques sensiblement uniformes.

Entre 1972 et 1974, dans le cadre du protocole d'étude sur le Saint-Laurent, trois campagnes de mesures importantes ont été réalisées (Verrette et al., CENTREAU 1972-1973, Korab, 1972 et Envirolab Services de Protection de l'Environnement du Québec, 1974). Ces campagnes ont permis de mettre en évidence une ligne de démarcation nette entre les eaux en provenance des Grands Lacs et celles de la rivière des Outaouais (chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne) entre l'île Perrot et l'île Dorval, de même que sur une certaine distance en aval de Repentigny.

Plus vers l'aval, les résultats ont permis de localiser, pour un débit donné, les lignes de démarcation des eaux intactes en provenance des Grands Lacs jusqu'aux environs des rapides Richelieu (Deschambault) soit jusqu'à la partie amont de l'estuaire non soumis au renversement de courant.

Des observations sporadiques généralement associées à des projets, tels que pour l'emplacement des prises d'eau municipales ou de déversement des eaux usées (ex.: la Communauté urbaine de Montréal) ont été effectuées. Elles ont surtout été concentrées dans les régions de Montréal, Repentigny, Trois-Rivières et Gentilly.

D'autres mesures importantes ont également été effectuées en 1980 dans la région de Gentilly et en 1982 et 1983 dans la région de Montréal (lac Saint-Louis), par Hydrotech Experts-Conseils Inc pour le compte de Hydro-Québec dans le cadre des projets Gentilly II et Archipel. Au niveau du lac Saint-Louis, les relevés "in situ" comparés à des images satellites ont permis de préciser la ligne de démarcation entre les eaux des Grands Lacs et celles de la rivière des Outaouais, particulièrement pour des conditions d'étiages et de crues (les seuls secteurs ayant fait l'objet d'études en périodes de crues et

d'étiages). Ces données ont par la suite servi à l'Hydro-Québec dans le développement d'un modèle mathématique.

D'autres modèles mathématiques représentant le phénomène ont été également proposés pour décrire des conditions locales comme le mélange des eaux du Saint-Maurice (Verrette et Aubert, 1977) et de la rivière Sainte-Anne-de-la-Pérade dans le fleuve (1988).

En parallèle, il y a eu quelques études sur modèle réduit pour simuler l'impact de certains aménagements sur le couloir fluvial. Citons entre autres, le déversement des eaux usées de la Communauté urbaine de Montréal (Laboratoire d'Hydraulique Lasalle: LHL - 1972), les études du projet Archipel (LHL 1982-1983).

En somme, les connaissances sur les phénomènes de diffusion et de mélange des eaux dans le fleuve et sur leur dynamique sont très limitées. Les données sont presque inexistantes pour certaines régions comme pour le tronçon Cornwall-Beauharnois (lac Saint-François), le lac Saint-Pierre, ainsi que la région en aval de l'île d'Orléans, où il faut associer la marée, le renversement de courant et le mélange eau douce - eau salée.

4.2.2 État de connaissance

Les connaissances acquises à date sont suffisantes pour mettre en évidence la complexité et l'ampleur de l'interaction de ce phénomène avec les autres aspects reliés à la qualité du fleuve. D'un autre côté, les dimensions du fleuve, les principales variables mises en jeu et l'état d'avancement de la recherche indiquent qu'il y a encore beaucoup à découvrir sur la formation de couloirs fluviaux et les processus de mélange.

Le regroupement des données obtenues jusqu'à maintenant montre en effet, que lorsque les affluents atteignent le fleuve, les eaux et les sédiments transportés sont rabattus le long des rives et se mélangent graduellement par la suite, tout en étant fortement influencés par la bathymétrie, la vitesse du courant et les débits. La schématisation de l'arrivée d'un affluent dans le Saint-Laurent est présentée sur la figure 4.3 a). Elle montre une ligne de démarcation très nette sur plusieurs kilomètres et par la suite l'intégration d'une zone de mélange qui va en s'élargissant avec la distance. A l'intérieur de cette zone, le mélange n'est pas uniforme, il présente une allure gaussienne allant d'un degré de mélange maximal sur la médiane à une valeur nulle de chaque côté. Les résultats obtenus pour le compte de Hydro-Québec dans la région de Gentilly (voir figure 4.3 b) illustrent bien ce phénomène.

Il ne faut donc pas se surprendre de constater, comme le montre la planche 3, qu'une partie importante des eaux du fleuve présente une masse hétérogène. On peut représenter schématiquement certains tronçons du fleuve comme une série de couloirs contigus ayant des caractéristiques distinctes. L'ampleur et les caractéristiques de ces couloirs varient en fonction du temps, des débits et de l'espace.

Pour la majorité des études effectuées, la région couverte ne dépasse guère 15 km. De plus, les résultats obtenus présentent un cliché instantané du phénomène, sauf pour les études effectuées à la hauteur de Gentilly et dans le lac Saint-Louis, qui ont mis en évidence la dynamique du phénomène de mélange des eaux en fonction des crues et des étiages (voir planche 3).

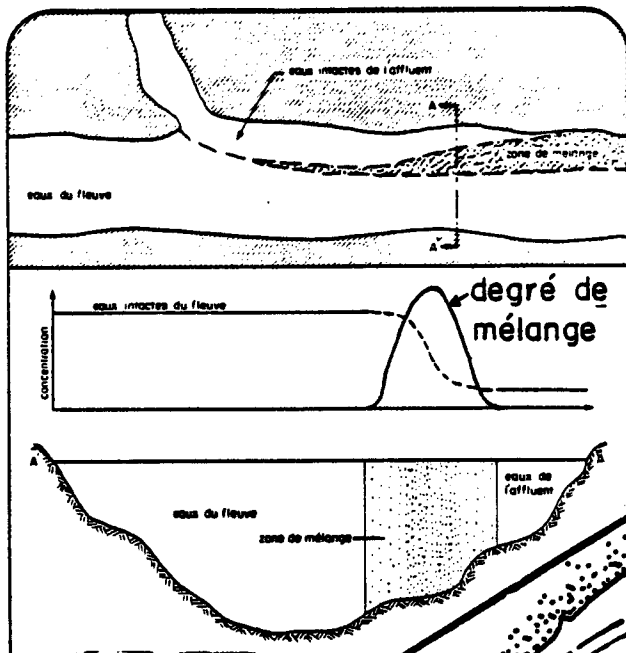


Fig. 4.3A – Schématisation du mélange d'un affluent au Saint-Laurent

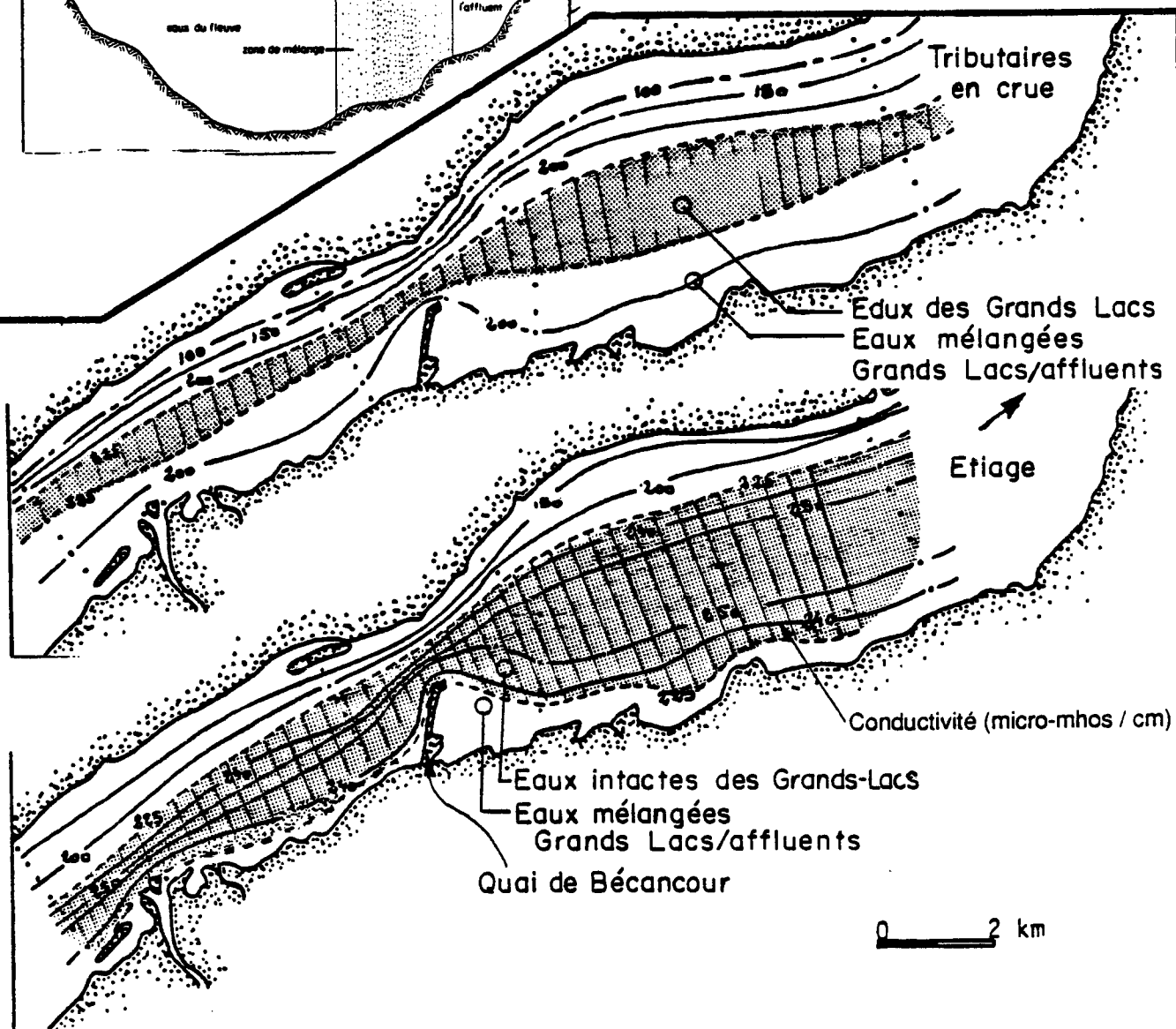


Fig. 4.3 B – Corridors d'écoulement en crue et en étiage dans la région de Gentilly

Source : Hydro-Québec , 1980.

Les principaux outils d'interprétation utilisés jusqu'à maintenant sont:

A. Mesures directes sur le terrain

Ces mesures ont permis d'identifier directement sur le terrain chaque couloir de mélange au moyen de paramètres caractéristiques propres à chaque milieu (conductivité, fluorescence naturelle, dureté, etc.). C'est la méthode la plus adéquate et la plus précise pour évaluer et décrire le phénomène. Les mesures et les calculs sont difficiles et complexes. Les résultats donnent une image statique du phénomène à moins d'effectuer plusieurs mesures sur le même site par rapport à divers débits afin d'obtenir la dynamique complète du phénomène.

A priori, cette approche est dispendieuse mais la qualité des résultats obtenus est meilleure. Elle est essentielle à l'étalonnage des autres méthodes. Le choix des paramètres de référence est délicat puisque plusieurs sont uniformes dans chacun des tributaires, et aussi que plusieurs affluents de la rive sud ont une conductivité similaire à celle du fleuve de sorte que l'utilisation de certains paramètres peut conduire selon le cas à de fausses interprétations.

B. Mesures indirectes

Les données en provenance d'images satellites, photos aériennes ou autres peuvent facilement et rapidement être obtenues. Elles ne fournissent cependant qu'une information de surface alors que le mélange s'intègre sur toute la profondeur. Il faut donc être très prudent dans l'interprétation de telles données, surtout si les résultats obtenus sont sans contrôle complémentaire. Ces méthodes

exigent une clé d'interprétation qui peut varier avec chaque milieu. Cela n'a pas encore été fait pour le Saint-Laurent sauf pour quelques cas spécifiques. L'interprétation des résultats est donc rendue difficile; en effet, il arrive que des eaux de qualité différente puissent être perçues comme étant identiques sur les photos. Un contrôle doit donc être fait à partir de mesures sur le terrain.

C. Modèle mathématique

Cet instrument est très puissant surtout quand vient le temps d'étudier des scénarios de mélange et de diffusion difficilement mesurables sur le terrain. La miniaturisation des ordinateurs et leur puissance font que maintenant plusieurs modèles mathématiques sur le mélange des eaux ont été développés. La qualité des modèles mathématiques réside cependant dans la précision de la calibration et dans l'ajustement des coefficients de diffusion. Ces derniers sont encore très mal connus pour le Saint-Laurent et seules des mesures sur le terrain combinées à l'étude de mécanisme de mélange pourront fournir les intrinsèques nécessaires aux modèles mathématiques.

D. Modèle physique

Quelques modèles réduits ont été utilisés pour simuler la diffusion, notamment pour la dispersion des eaux usées de la C.U.M. Etant donné le rapport largeur/profondeur du fleuve, les modèles réduits sont habituellement construits avec une distorsion. Cet artifice utilisé avec succès pour la majorité des problèmes hydrauliques donne des résultats douteux lorsqu'il est employé pour représenter le phénomène de diffusion.

4.2.3 Caractérisation par secteur

4.2.3.1 Région de Montréal

A. Lac Saint-François

Il n'existe pas, à toutes fins utiles, de données pour ce secteur. Les eaux du lac Saint-François sont souvent considérées comme homogènes, étant donné le faible apport des affluents de cette région. Cependant, la qualité des fonds du Saint-Laurent laisse supposer que les affluents situés sur chaque rive surtout en rive droite (Etats-Unis), jouent un rôle important sur le lac Saint-François, vu sa faible bathymétrie, qui caractérise les zones propices à la sédimentation.

B. Archipel de Montréal

Cette région est une des plus complexes sur le plan diffusion. Elle est caractérisée par la rencontre de plusieurs masses d'eau importantes à débit variable comme Beauharnois, les Cèdres et les chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne qui empruntent le lac Saint-Louis, les rapides de Lachine et le bassin de Laprairie.

En rive gauche, la ligne de partage des eaux du fleuve et celles de la rivière des Outaouais a été établie pour quelques débits jusqu'aux environs de l'île Dorval. Les informations proviennent principalement de mesures sur le terrain, d'images satellites et de modèles mathématiques (voir planche 3). Le comportement du mélange des eaux en provenance du canal Vaudreuil est encore très obscur, surtout en périodes de faible hydraulité.

La synthèse des études a mis en évidence les principaux faits suivants: les eaux en provenance de Sainte-Anne-de-Bellevue longent la rive gauche tout en se mélangeant graduellement avec celles du fleuve (Grands Lacs).

Les eaux en provenance de Vaudreuil sont prises dans un immense tourbillon en aval de l'île des Cascades avant de poursuivre leur chemin et contourner l'île Perrot tout en se mélangeant avec celles du fleuve et les eaux partiellement mélangées en provenance de Sainte-Anne-de-Bellevue. Les conditions sont différentes cependant en crue et en étiage comme le montrent la figure 4.4 et la planche 3.a.

A l'opposé, les eaux des rivières Saint-Louis et Châteauguay, habituellement très chargées en sédiments, sont rabattues sur la rive droite pour emprunter la voie maritime du Saint-Laurent. A prime abord donc, les fonds contaminés en rive sud du lac Saint-Louis et du bassin de Laprairie sont étroitement liés aux apports des rivières Saint-Louis et Châteauguay.

Cette formation de couloir se prolonge sur de grandes distances. En effet, au Pont Jacques-Cartier à Montréal, les eaux du fleuve, après avoir parcouru une distance d'environ 60 km incluant les rapides de Lachine et le lac Saint-Louis, ne constituent pas une masse homogène. On y distingue, à partir de l'île de Montréal vers la rive sud, les couloirs suivants:

- . eaux de la rivière des Outaouais en provenance du chenal Sainte-Anne;
- . eaux de mélange (Sainte-Anne, Vaudreuil);
- . eaux de mélange (Vaudreuil, fleuve);
- . eaux du fleuve (Grands Lacs);
- . eaux de mélange (fleuve et Châteauguay).

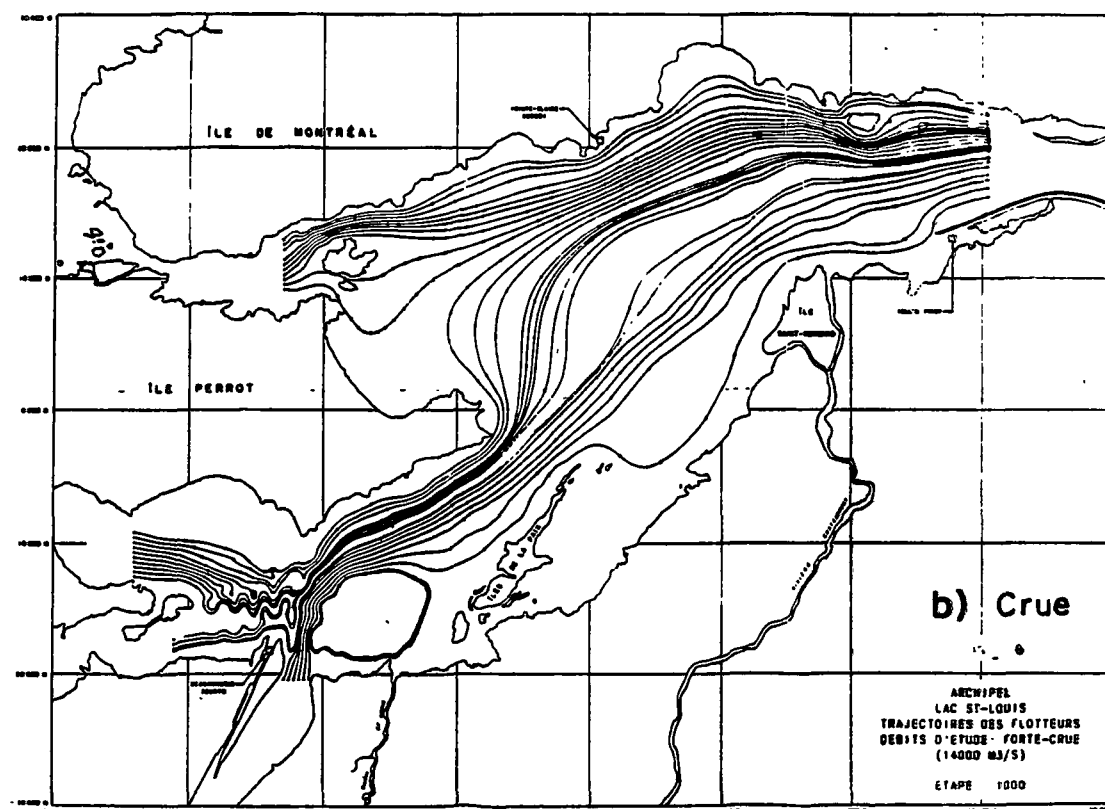
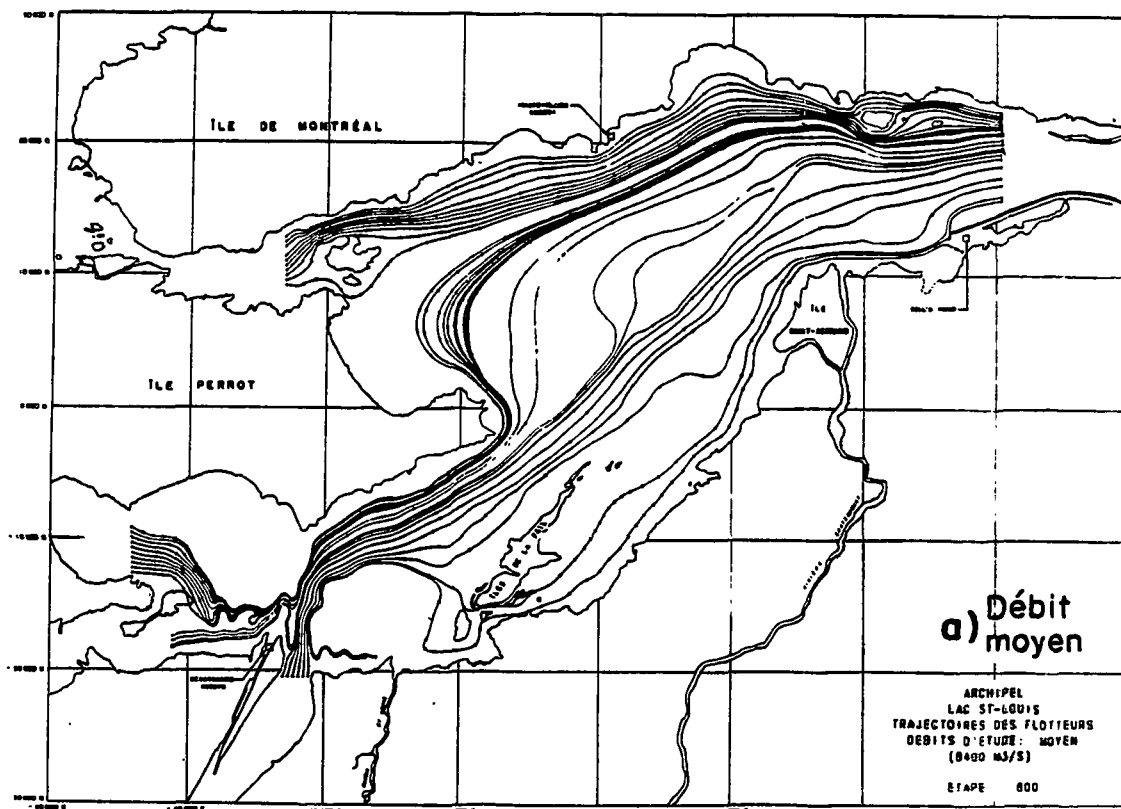


Fig. 4.4 — Trajectoires d'écoulement pour un débit moyen et de forte crue dans le lac Saint-Louis.

Source: Hydro-Québec, service hydraulique, 1982.

Les différentes masses d'eau représentées par les couloirs ne sont pas stables; au contraire elles fluctuent en fonction du temps, de l'espace et du débit. On retrouve donc une distribution transversale spatio-temporelle non uniforme (voir planche 3), dans le lac Saint-Louis et le bassin de Laprairie.

Ainsi, étant donné que les rivières des Prairies et des Milles-Iles drainent uniquement les eaux de la rivière des Outaouais - sauf en périodes de grandes crues (le Saint-Laurent déborde alors dans le lac des Deux-Montagnes), la région métropolitaine de Montréal, formée par l'ensemble des îles de Montréal, de Jésus, Bizard et Perrot, est baignée exclusivement par les eaux provenant de la rivière des Outaouais.

D'ailleurs, cette région présente un cas pratique très intéressant. En effet, la ville de Montréal a tenu compte de la position des différents couloirs d'écoulement pour aller puiser son eau potable directement dans les eaux des Grands Lacs, soit loin de la rive balayée par les eaux de la rivière des Outaouais.

C. Région de Repentigny

La démarcation entre les eaux des rivières des Prairies et des Milles-Iles est connue sur une vingtaine de kilomètres environ (voir planche 3). Ces résultats proviennent surtout de mesures directes sur le terrain, complétées par des informations obtenues par photos aériennes.

La dynamique du phénomène de même que le rôle des rivières secondaires, comme la rivière l'Assomption, sont très mal connus.

Certains paramètres reliés à la diffusion, comme le coefficient de dispersion, ont été mesurés pour certains débits dans cette région. Cependant, la gamme de possibilités de mélange selon les saisons et les débits caractéristiques du Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais est inconnue.

4.2.3.2 Région de Trois-Rivières

A. Lac Saint-Pierre et delta de Sorel

La présence de nombreux chenaux, l'élargissement brusque du fleuve et la faible profondeur du fleuve font de cette région une zone très sensible à tous les facteurs énumérés précédemment (section 4.2.1).

Quelques lignes de démarcation entre les eaux du fleuve et celles de certains affluents importants tels le Richelieu, la Saint-François et la Yamaska ont été succinctement mesurées dans le lac Saint-Pierre pour des débits bien spécifiques, mais pas pour l'ensemble des débits. Les observations ont démontré que le mélange des affluents commence presque immédiatement à l'arrivée des eaux dans le lac pour s'étaler rapidement. On retrouve donc au niveau du lac Saint-Pierre (voir planche 3):

- au centre: des eaux intactes en provenance des Grands Lacs;
- rive gauche: une zone de mélange partielle formée des eaux de la rivière des Outaouais et des rivières Assomption, Maskinongé et du Loup avec celles du fleuve;

- rive droite: une zone de mélange formée des eaux des rivières Richelieu, Saint-François et Yamaska avec celles du fleuve.

Les affluents jouent donc un rôle très important sur la qualité de l'eau et des fonds du lac Saint-Pierre à cause des faibles profondeurs qui forcent les tributaires à s'étaler davantage dans le lac Saint-Pierre à partir des rives.

Des phénomènes similaires aussi complexes existent dans le delta de Sorel, compte tenu de la diffusion des eaux en provenance de l'amont (Saint-Laurent, des Outaouais, Assomption) qui se répartissent dans la majorité des chenaux du delta pour reprendre ensuite contact dans le lac St-Pierre (voir planche 3). En amont du delta, le couloir intact des eaux des Grands Lacs longe la rive sud dans le delta de Sorel sur près de la moitié de la largeur du fleuve pour se diriger vers la voie navigable qui s'approche de la rive sud pour être repoussé par la suite par les eaux du Richelieu.

A toutes fins utiles, les données sur la dynamique et les caractéristiques de la diffusion dans cette région sont très peu connues pour l'ensemble des affluents du secteur.

B. Secteur aval (du Saint-Maurice aux rapides Richelieu)

La position générale du Saint-Maurice lors de son arrivée dans le fleuve est connue sur près de 25 km pour quelques valeurs de débits. Ainsi, en rive gauche, on peut observer des eaux non mélangées du Saint-Maurice qui longent la rive, de son embouchure jusqu'à la hauteur de Batiscan. Les données proviennent de photos aériennes et de mesures sur le terrain. Un modèle

mathématique (Verrette et Aubert, 1977) ajusté à partir des mesures prises sur le terrain a été élaboré pour décrire le mélange des eaux du Saint-Maurice. Cependant, l'influence des débits et la dynamique des phénomènes de mélange à l'intérieur des couloirs Saint-Maurice n'a pas été étudiée.

Ainsi en aval du Saint-Maurice, plusieurs blocs d'écoulement peuvent être considérés:

Près de la rive nord:

- les eaux intactes du Saint-Maurice;
- le mélange du Saint-Maurice avec les eaux mélangées de la rivière des Outaouais et de celles du Saint-Laurent;
- le mélange des eaux de la rivière des Outaouais avec les eaux du Saint-Laurent.

Au centre:

- le couloir principal occupé par les eaux intactes des Grands Lacs.

Près de la rive sud:

- le mélange des eaux regroupant les apports des rivières Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet avec les eaux du Saint-Laurent.

A la hauteur de Gentilly, des mesures ont mis en évidence les divers couloirs avec, dans la partie centrale du fleuve, une masse d'eau en provenance des Grands Lacs non encore mélangée avec les affluents. Le phénomène a été observé tant en période de crue que d'étiage avec bien sûr des limites de démarcation différentes. C'est ainsi, par exemple (voir planche 3), qu'en période d'étiage, les eaux des Grands Lacs s'étalent sur une grande étendue pour s'approcher des rives, tandis qu'en période de crue des affluents, c'est le contraire, les couloirs de mélange de part et d'autre s'étalent sur de grandes largeurs pour concentrer les eaux intactes des Grands Lacs vers le centre. Les lignes de démarcation ont aussi été délimitées sur près de 15 km, mais s'étendent jusqu'aux rapides Richelieu, malgré la présence de la marée à courant non réversible.

Encore là, cependant, il n'existe pas de données sur les caractéristiques de diffusion à l'intérieur de chaque couloir.

4.2.3.3 Région de Québec

En aval de Gentilly, les résultats sont assez épars, mis à part une étude récente sur le mélange des eaux de la rivière Sainte-Anne. Plusieurs mesures ont toutefois été effectuées dans la région de Québec en relation avec le diffuseur de Sainte-Foy. Les panaches ont été établis pour certaines conditions de marée.

Quelques mesures ont été effectuées aussi pour connaître le comportement de certains affluents comme la rivière Cap-Rouge.

Il faut se rappeler ici que le phénomène de diffusion devient plus complexe dû à la présence d'une marée très forte, du renversement des courants

sur toute la profondeur du fleuve et des fortes vitesses initiées par les rapides Richelieu. Ainsi, au cours des cycles de marée il y a rencontre de courants de sens opposés - l'un fluvial et l'autre maritime. Le point de rencontre est variable selon le niveau des marées et oscille dans le secteur d'eau douce entre l'île d'Orléans et les rapides Richelieu. A marée montante, la confrontation des deux masses d'eau s'accompagne d'une forte macro-turbulence combinée à des mouvements circulatoires qui ont pour effet de mélanger les couloirs d'écoulement et les rendre plus homogènes. Depuis les années 50, le phénomène est de plus accentué par la présence du quai de Portneuf localisé juste en aval des rapides Richelieu en rive nord et qui relie la berge au chenal. Le quai a ainsi pour effet de dévier totalement les masses d'eau de la rive nord vers le chenal maritime.

A marée haute, la rencontre des deux courants a lieu dans les rapides mêmes. A marée baissante, les couloirs de rives ont tendance à se reformer partiellement, mais au jusant, les eaux dans les rapides Richelieu ont tendance à se concentrer totalement dans le chenal maritime (voir planche 1). Plus en aval, il est cependant encore possible de détecter les eaux partiellement mélangées de la rivière Jacques-Cartier en rive nord et de la rivière Chaudière en rive sud.

En aval, dans l'estuaire, les phénomènes qu'on y rencontre sont à l'échelle du fleuve. Il existe une zone aussi importante que complexe où l'eau douce vient se mélanger à l'eau salée. La présence de l'eau salée vient donc ajouter un autre élément majeur aux mécanismes de mélange des eaux. Une stratification importante apparaît et les eaux douces s'étalent sur les eaux salées d'une façon non uniforme par rapport à la largeur, faisant glisser notamment les eaux douces de surface étant donné la configuration et la bathymétrie du fleuve dans cette région. Des relevés ont mis en évidence des

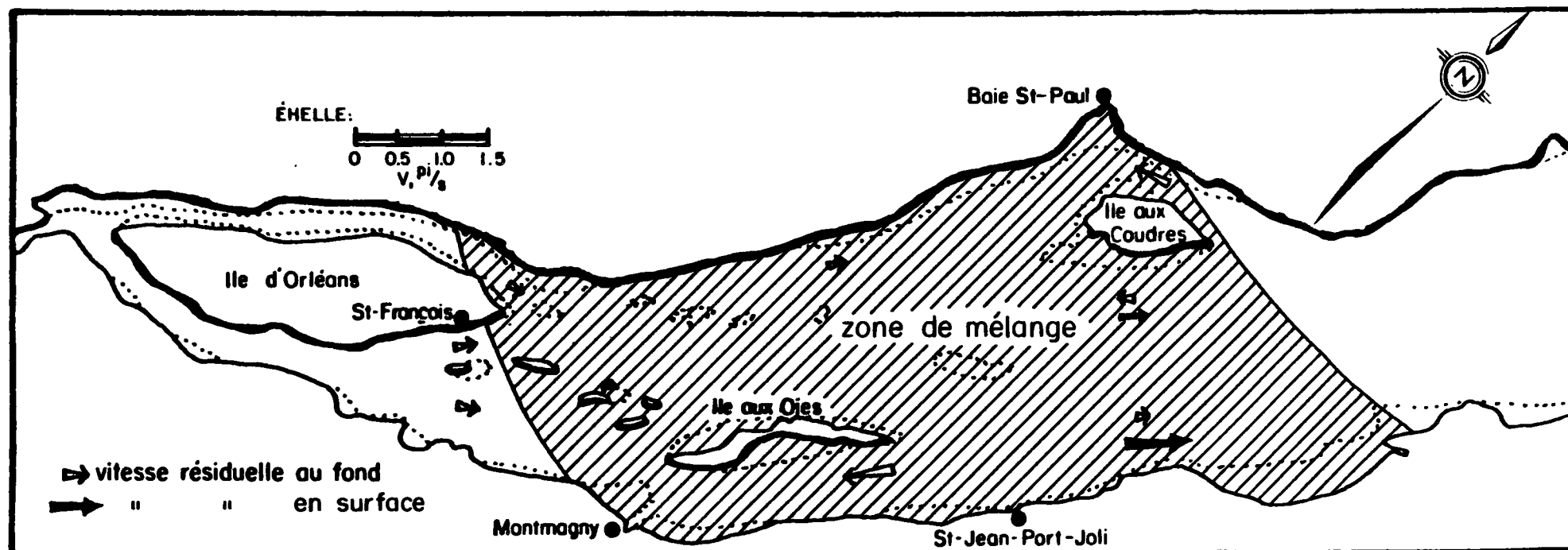


Fig. 4.5 — SCHÉMA DE L'ÉCOULEMENT RÉSIDUEL LE 16 SEPTEMBRE 1971, MARÉE FAIBLE.
 ET LIMITE DE LA ZONE DE MÉLANGE

Source: Centreau .

écoulements en sens opposé entre le fond et la surface (figure 4.5). Plus en aval, la largeur du fleuve devient importante et la marée occasionne une circulation non symétrique. De plus, le mouvement de va-et-vient causé par la marée déforme le phénomène sur plusieurs dizaines de kilomètres dans le sens longitudinal et accentue davantage la complexité du mélange des eaux.

Quelques modèles mathématiques sur l'hydrodynamique de la région ont déjà été élaborés. Ils ne touchent pas la diffusion. Dans les deux cas, l'ajustement des modèles se heurte à l'absence de données réelles.

Les images satellites ont déjà été utilisées pour cette région. L'utilisation en est aussi restreinte par l'absence de contrôles de référence sur le terrain.

4.2.4 Conclusion

Le mélange et la diffusion des eaux sont des aspects fondamentaux reliés à la connaissance de toute la dynamique de la qualité des eaux et du milieu récepteur. La connaissance des différentes masses d'eau est importante dans les études environnementales et des écosystèmes de même que dans la planification des usages du fleuve tels les prises d'eau, la contamination des plages, le mouvement des sédiments, le rejet des eaux usées, le dragage, les aménagements portuaires. Par exemple, le projet Archipel à Montréal, s'il avait été réalisé, aurait entraîné une modification importante des couloirs de mélange en aval.

L'analyse faite du dossier indique qu'il existe des données locales du phénomène mais qu'il y a un manque très important de données de base qui permettraient:

1. de mieux connaître le phénomène:
 - sur le plan statique (cliché instantané);
 - sur le plan dynamique (en fonction des débits, des saisons et des mécanismes de mélange);
 - sur la caractérisation des paramètres associés à la diffusion.
2. de bonifier et d'étudier au maximum d'autres outils, comme les modèles mathématiques ou les informations par satellite, en établissant les valeurs de référence pour calibrer ces modèles;
3. de gérer d'une façon plus adéquate les usages du fleuve, prises d'eau, rejets, protection des plages, en relation avec la position et la variation spatio-temporelle des couloirs de mélange.

4.2.5 Recommandations

- Considérant l'importance du mélange et de la diffusion sur la qualité de l'eau, les usages du fleuve et sur le processus de transfert des sédiments.
- Considérant également le manque de données de base essentielles à la compréhension et à l'utilisation des outils, tels les modèles mathématiques ou autres.

Il est recommandé de concentrer les efforts sur l'acquisition des connaissances de base en vue de:

1. compléter l'intégration des données actuelles;
2. préparer une méthodologie de mesures et de normes adaptée aux caractéristiques particulières du fleuve;
3. procéder à un programme général d'analyse et de relevés (en cinq ans) orienté vers des régions cibles importantes sur le plan environnemental, soit, par ordre de priorité:
 - lac Saint-François;
 - lac Saint-Pierre incluant le delta de Sorel;
 - lac Saint-Louis et le bassin de Laprairie;
 - la région Repentigny - Sorel;
 - l'aval du lac Saint-Pierre jusqu'à Portneuf;
 - l'estuaire d'eau douce et d'eau salée à partir de Portneuf;
4. établir divers sites permanents de mesures de diffusion.

4.3 Régime thermique

4.3.1 Généralités

Il existe des données provenant de mesures ponctuelles pour quelques endroits spécifiques du fleuve, notamment des prises d'eau comme à Montréal et à Sainte-Foy. Les principaux traits peuvent ainsi être dégagés, selon Frenette et Verrette (Revue L'ingénieur, 1976):

1. En général, on peut admettre une distribution régionale sensiblement homogène qui varie lentement en masse. Les conditions météorologiques locales ont peu d'influence sur la température de l'eau étant donné la grande inertie de la masse d'eau du fleuve.
2. L'évolution temporelle de la température de l'eau indique (figure 4.6) les résultats moyens suivants. Pendant environ 3,5 mois de l'année (soit du 15 décembre au début d'avril), la température de l'eau est sensiblement constante et voisine de 0°C . Pour le reste de l'année, sa variation présente une allure sinusoïdale avec un sommet d'environ 23°C , atteint normalement en début août.
3. Le long d'une verticale, les variations de températures sont dans la très grande majorité des cas inférieures à $1,0^{\circ}\text{C}$.
4. Dans le sens transversal, les variations sont un peu plus importantes bien qu'elles soient quand même très faibles. En moyenne, les températures varient de $0,5$ à 1°C avec des écarts maxima de 2 à 4°C . Dans ces cas, les valeurs correspondent aux différences de température entre les eaux du fleuve et de ses affluents.
5. La variation longitudinale est lente et graduelle de sorte que pour un instant donné, on peut observer, par exemple une différence variant seulement de 0 à 3°C entre Québec et Montréal.

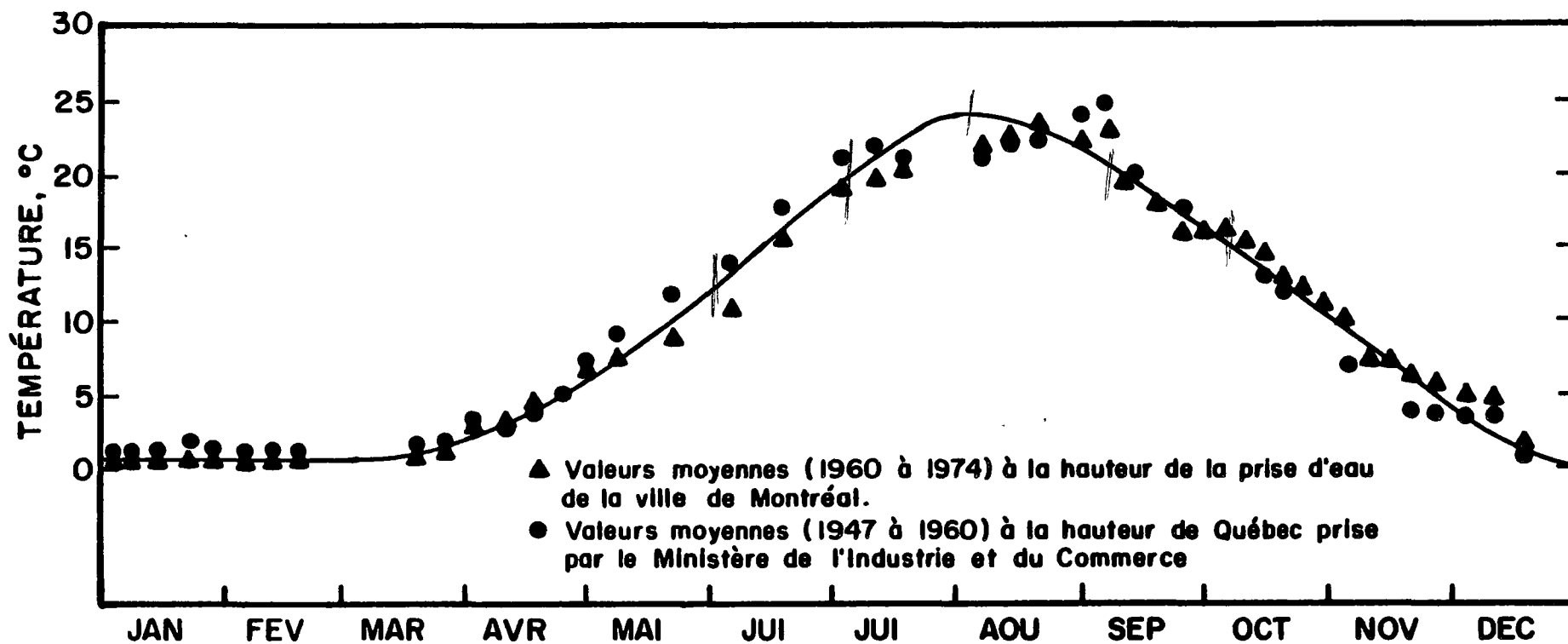


Fig. 4.6 — Évolution temporelle de la température de l'eau dans le fleuve Saint-Laurent.

Source: Verrette J.L. et al., Centreau, 1974.

4.3.2 Conclusion

Comme pour l'hydrodynamique, le facteur température ne constitue pas une recherche fondamentale, ce paramètre sert de soutien à la compréhension des autres facteurs comme pour le transport solide et les études de diffusion. La distribution des températures est d'ailleurs assez similaire d'une année à l'autre. Il reste cependant que certaines stratifications thermiques ont déjà été observées dans le fleuve à cause des effets densimétriques. Ces stratifications peuvent entraîner des glissements latéraux de masses d'eau qui modifient les couloirs de mélange.

4.4 Régime des glaces

Le régime des glaces constitue une contrainte majeure au développement et à la mise en valeur du Saint-Laurent en rapport, par exemple, à la navigation commerciale et de plaisance et au développement touristique et économique.

Sur le plan sédimentologique, cette forme particulière d'eau est surtout retenue pour son action mécanique en particulier le long des berges et sur l'estran et pour son effet sur les fonds au moment de la formation d'embâcles.

L'érosion des berges par les glaces est chose courante dans le Saint-Laurent, notamment dans le delta de Sorel. Quant à la glace d'estran, puisqu'elle est en contact périodique avec les fonds, à cause de la marée, une quantité appréciable de solides fins peuvent adhérer aux glaces au moment de leur formation, puis être transportés au moment de leur dérive. Les travaux de Sérodes et Troude (1988), de Dionne (1981) et de plusieurs autres sur les

battures de Beauport, de Montmagny et d'ailleurs, mettent bien en évidence l'importance de la mécanique sédimentaire associée aux glaces. Troude, par exemple en 1986, a estimé à 50 000 tonnes l'extraction par les glaces de sédiments fins sur l'estran du Cap Tourmente et Dionne (1981) à plusieurs millions de tonnes pour l'ensemble de l'estuaire. Ainsi, dans les secteurs soumis à la marée, les glaces en dérive deviennent un véhicule privilégié pour le mouvement des sédiments vers le Golfe.

Un autre effet important est la formation d'embâcles, soit de frasil ou de glaçons en dérive. Ils sont la cause de la mise en vitesse des eaux, notamment près des fonds, d'affouillement de fosses, de blocage de chenaux et de rivières et de remises en suspension de sédiments fins (communication personnelle, B. Michel).

En particulier, ce phénomène se retrouve à la tête du lac Saint-François (embâcle de frasil) et occasionnellement en tête du lac Saint-Pierre lorsque les brise-glaces ne suffisent pas pour maintenir les glaçons en dérive dans l'écoulement, de même qu'en aval des rapides Richelieu (quai de Portneuf) et dans le secteur du pont de Québec. Il s'agit alors d'embâcles classiques formés de glaçons relativement gros mêlés à de la "slush" de frasil (communication personnelle, B. Michel).

Les effets de glace se traduisant par l'érosion du lit peuvent donc expliquer en partie pourquoi dans certains secteurs du Saint-Laurent, comme les lacs Saint-François et Saint-Pierre, on trouve moins de sédiments fins que ne le laissent supposer les relevés hydrodynamiques d'étiage, bien que les crues et le facteur vent jouent également un rôle important.

? Enfin, comme pour les Grands Lacs, la présence de glace sur le Saint-Laurent - sauf dans le chenal maritime - modifie les échanges des substances toxiques entre la phase dissoute et l'atmosphère (Barbeau 1988) ayant pour effet d'accroître les concentrations des contaminants dans l'eau durant la période hivernale.

4.4.1 Conclusion et recommandation

Malgré l'importante présence de glaces sur le fleuve, leur influence sur le régime sédimentologique est très peu connue. Il y aurait donc lieu de compléter le programme de recherche en vue d'évaluer l'importance du transport de sédiments par les glaces sur les battures du fleuve à la débâcle et d'étudier les processus sédimentologiques sous les couverts de glaces lors de la formation d'embâcles comme dans le lac Saint-Pierre.

V BILANS SEDIMENTAIRES

5.1 Généralités

Bien que sur le plan hydrologique le couloir du fleuve s'alimente en grande partie des eaux des Grands Lacs, on ne peut s'attendre aux mêmes proportions quant aux apports sédimentologiques.

Le Saint-Laurent lui-même, à cause de sa morphologie et de la nature originale de ses fonds, principalement dominés par les argiles de la mer de Champlain, contribue peu à l'accroissement naturel de la charge sédimentaire, exception faite de l'érosion de certaines berges qui constitue un problème local mais peu significatif par rapport à l'ensemble des apports solides.

La charge sédimentaire du Saint-Laurent est donc intimement liée aux apports des tributaires, situés en grande partie au Québec, notamment au niveau des bassins agricoles. Soulignons cependant que certains bassins situés aux Etats-Unis (ex.: Richelieu) ou en Ontario (ex.: la rivière des Outaouais), peuvent contribuer d'une façon assez marquée aux apports en aval du lac Ontario.

5.1.1 Historique des relevés

Les premiers relevés sur la concentration en solides dans le fleuve effectués par le gouvernement fédéral remontent à l'année 1964 avec une station en continu au niveau de la région de Montréal (Lasalle). Deux méthodes étaient alors utilisées pour le prélèvement des échantillons: un échantillonnage automatique au moyen d'une pompe et un échantillonnage manuel effectué par un observateur. Les données furent recueillies d'une façon continue et saisonnière, couvrant ainsi la gamme de crues et d'étiages. Depuis, il y a eu diverses campagnes de relevés par diverses agences, mais réalisées dans des cadres bien spécifiques couvrant alors une année, une saison ou une région précise. Ces données peuvent donc être difficilement extrapolées d'une année à l'autre, voire même d'une saison à l'autre.

En bref, l'historique des relevés se résume comme suit:

A. Relevés dans le Saint-Laurent

a) **Le Gouvernement canadien - service sédimentologique (1964-1975).**

- Une station en continu au niveau de la région de Montréal (Pont Mercier et Lasalle - un seul point de mesure).

b) **Transport Canada (1967, 1969 et 1972)**

- Relevés en rapport avec la canalisation du Saint-Laurent en 1967.
- Relevés en rapport avec les aménagements portuaires de Gentilly-Bécancour (1969-1972) incluant des mesures de vitesse, de concentration et de transport de fond.

c) **Entente Québec-Canada (1972-1977).**

- Campagnes d'été et d'automne de 1972 (tronçon Cornwall-Varennnes), de 1973 (tronçon Varennnes-Montmagny) et de 1974 (estuaire) par Frenette et al., CENTREAU. Au total, 108 sections ont été rapportées à l'intérieur du fleuve, dont plusieurs étaient situées à l'embouchure des tributaires. Chaque section comprenait en moyenne cinq verticales avec trois prélèvements par verticale. Une seule série d'observations a été effectuée au niveau de chaque section pour un total de près de 2 000 relevés.

1620 ??

d) **Comité d'étude sur le Saint-Laurent (1975-1976).**

- Mesure des concentrations en solides le long du fleuve (deux courtes campagnes) et à l'embouchure des principaux tributaires.

e) Environnement Canada.

- Mesure des concentrations en solides aux sites suivants (une campagne/année): Cornwall, Valleyfield, lac Saint-Louis, Montréal, Pointe-aux-Trembles, lac des Deux-Montagnes, Lanoraie, lac Saint-Pierre, Trois-Rivières, Portneuf et Québec.

f) Ile Wolfe (données récentes).

- Relevés (25) à la sortie des Grands Lacs (communication personnelle de H. Biberhofer de Environnement Canada, région de l'Ontario, août 1988).

g) Projets particuliers (projet Archipel).

i) Hydro-Québec (1981-1982)

- Relevés à l'automne 1981 et au printemps 1982 (concentration et mélange) autour de l'archipel de Montréal couvrant le lac Saint-Louis, le bassin de Laprairie, le lac Des Deux-Montagnes, les rivières des Prairies et des Milles-Iles et le secteur fluvial jusqu'à Repentigny, en périodes de crues de printemps et d'automne (relevés et études effectués par Hydrotech Inc.).

ii) Environnement Québec (1982-1983)

- Trois campagnes de mesures de vitesse et de concentration (19 sections), incluant la rivière des Outaouais et le Saint-Laurent jusqu'à Repentigny, en rapport avec le projet Archipel (rapport Gidas).

h) Hydro-Québec (1984)

- Campagne de relevés de concentration et nature des solides sur le lac des Deux-Montagnes et les rivières des Prairies et des Milles-Iles (relevés et études effectués par SOGEAM).

B. Relevés dans l'estuaire

- Le groupe GIROQ (Bruno d'Anglejean - Université McGill), INRS - océanographie (Rimouski) et Bedford Institute (Halifax) et plusieurs autres, ont également effectué des relevés dans l'estuaire, mais l'intégration de ces données n'a pas fait l'objet d'études spécifiques.

Ces relevés constituent les principales sources d'information quant aux concentrations en solides dans le fleuve. Certes, il peut y avoir eu d'autres relevés à caractère plus spécifique tel, par exemple, pour l'étude d'implantation de prises d'eau ou d'aménagements de marina, mais dans un sens général, nous jugeons que ce sont là les principales sources d'information à retenir.

C. Relevés des tributaires

La province de Québec, dans le cadre d'un projet conjoint avec le Gouvernement fédéral, a entrepris en 1968 une campagne de relevés de bassins répartis principalement sur les versants nord et sud du fleuve, entre Montréal et Québec. Ce premier programme s'est terminé en 1977. Environnement Québec concluait alors que:

"Le peu d'importance du phénomène de transport des sédiments ne justifiait plus un programme systématique d'inventaire."

Cependant, un autre programme de mesures a été relancé au début de 1977, pour une durée de trois ans. Quinze rivières réparties le long du fleuve formèrent alors le réseau de base. En 1980, dix des quinze stations ont été fermées, alors que neuf nouvelles ont été annexées. Toutes les stations du réseau ont été abandonnées au début de 1982. La carte des stations de relevés apparaît ci-après (voir figure 5.1).

En 1987-1988, huit stations ont été ré-activées par le gouvernement avec quatre à huit points de mesures par bassin à savoir: les rivières du Nord, Assomption, Richelieu, Saint-François, Yamaska, Nicolet, Bécancour et Chaudière. L'objectif était d'assurer un suivi des apports en matières en suspension dans le cadre des études de qualité des eaux.

La figure (5.2) présente l'histogramme des stations et rivières échantillonnées entre 1967 et 1983 et la figure 5.3, la période de relevés et les concentrations maximales observées jusqu'en 1988.

Notons que le seul paramètre mesuré est la concentration en solides et qu'à notre connaissance, il n'existe aucune donnée quant à la nature même des particules et à leur degré de contamination avant leur arrivée dans le fleuve.

5.1.2 - Transport de fond

Dans le Saint-Laurent, seul Transport Canada a effectué quelques mesures de charriage de fond, notamment à Gentilly et en aval de l'Île d'Orléans dans les années 1971 à 1973. A part cela, il n'existe aucune observation quant au transport par charriage des tributaires, bien que dans certains cas, ces apports peuvent être importants (ex.: rivière Bécancour, rivière Sainte-Anne). Dans le cadre des études sur le Saint-Laurent, des études ont cependant été réalisées sur la capacité de charriage de fond dans divers secteurs du Saint-Laurent, mais ces études demeurent plutôt théoriques (Frenette et al., CENTREAU, 1972-1973).

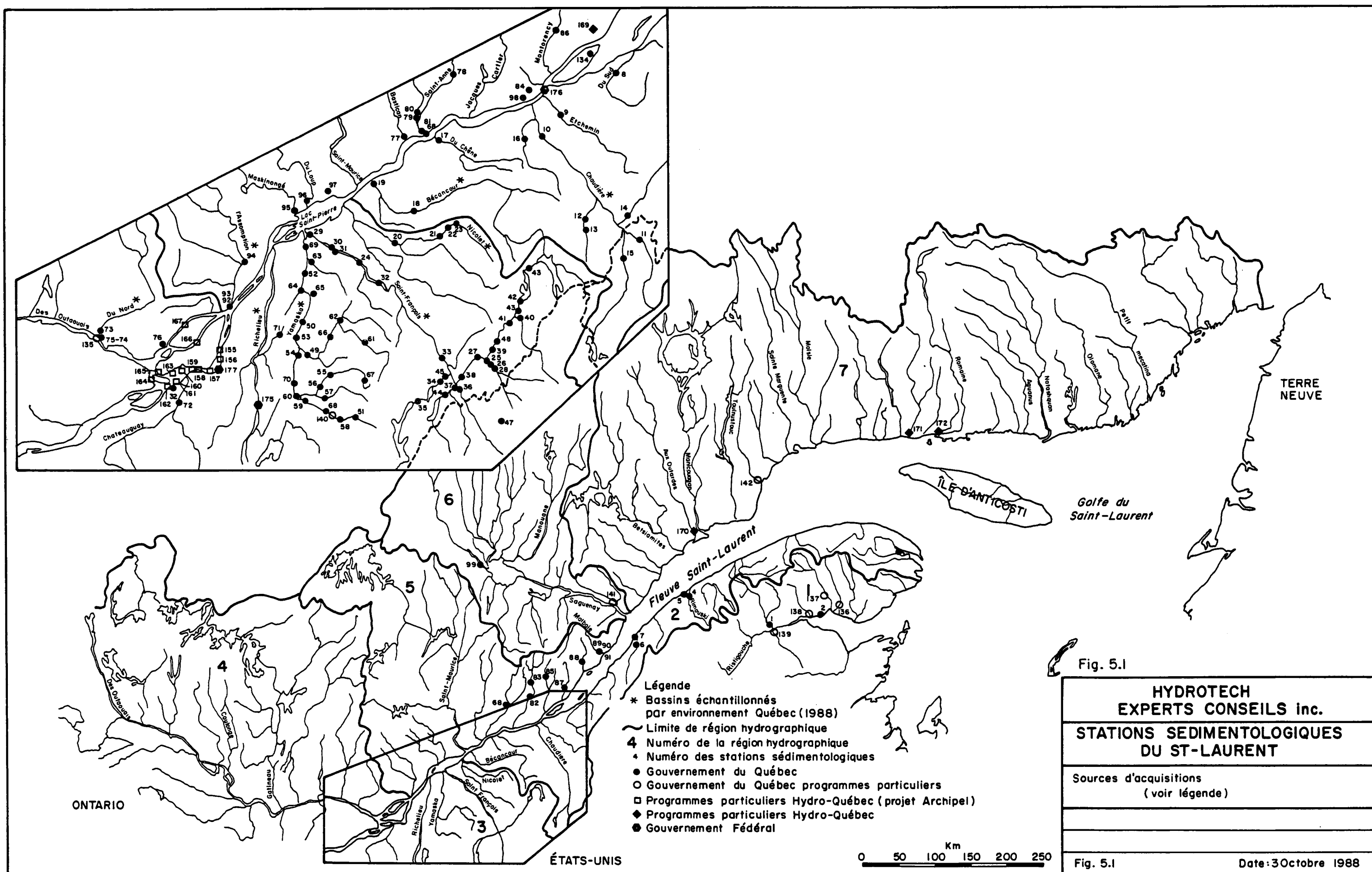


Fig. 5.1

HYDROTECH EXPERTS CONSEILS inc.	
STATIONS SEDIMENTOLOGIQUES DU ST-LAURENT	
Sources d'acquisitions (voir légende)	
Fig. 5.1	Date: 3 Octobre 1988

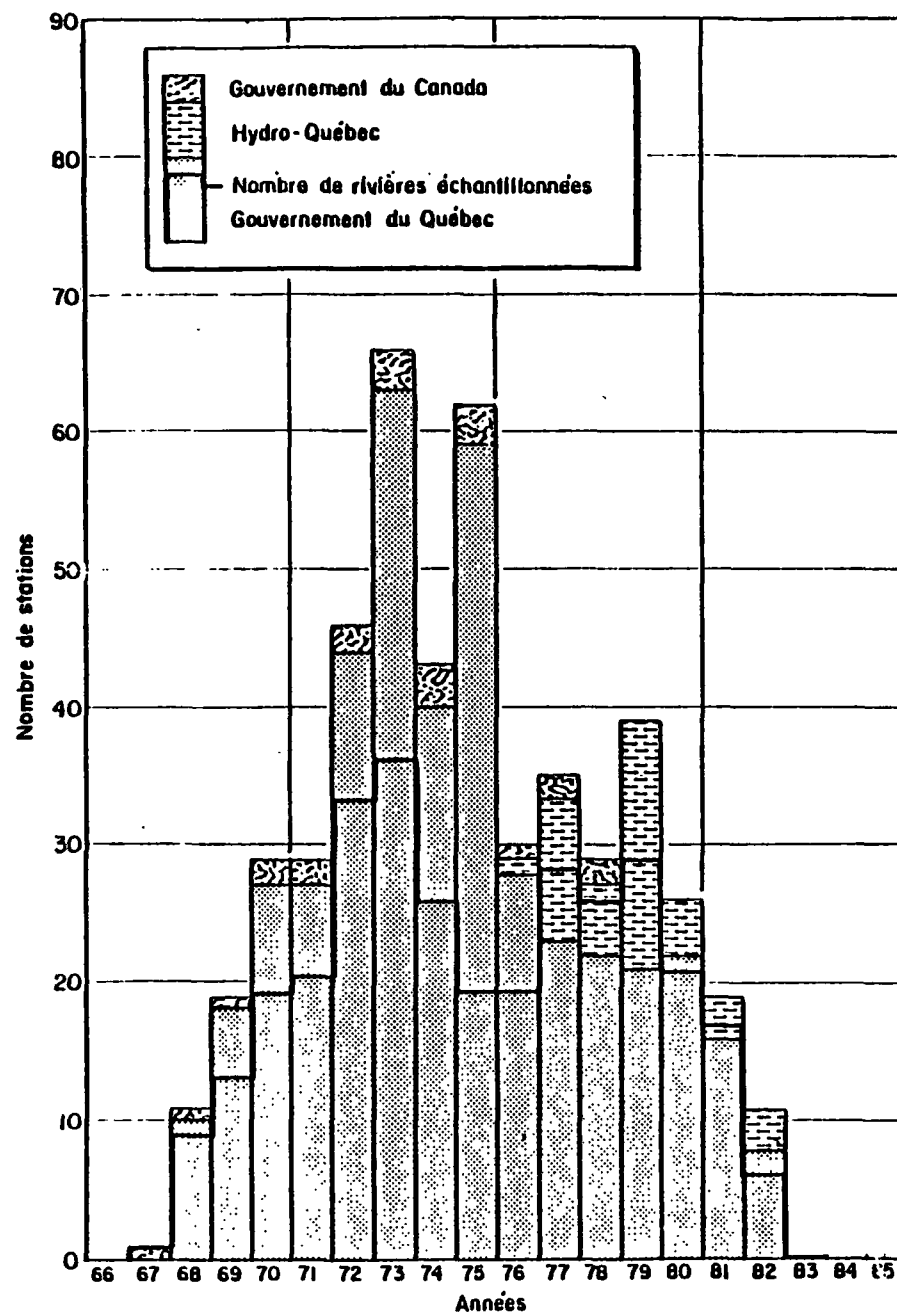


Fig. 5.2a—Histogramme des stations et des rivières échantillonnées par année.

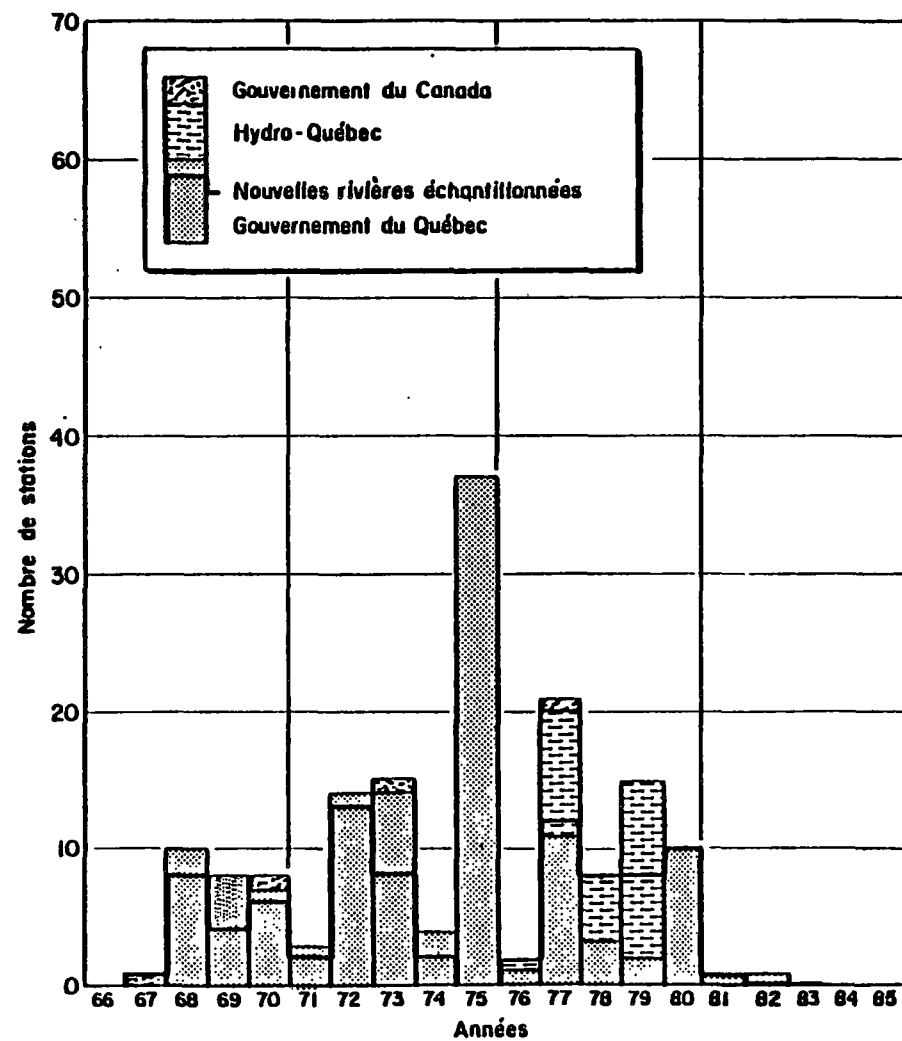


Fig. 5.2b—Histogramme des nouvelles stations et nouvelles rivières échantillonnées par année.

Région hydrogr.	No carte	Station numéro	Rivières	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Concentration, mg/L						Concentration moyenne Calculée (mg/l)
																										0-50	51-100	101-200	201-500	501-1000	> 1000	
00	176-177		St-Laurent	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---							
02	1	02040A	York		05																											27.9
	4	02200A	Rimouski		04		07																									
	5	02210A	Bic			03	06																									
	6-7	02250	Du Loup (2)		04		01		05	02							04	01														21.2
	8	02310B	Du Sud				02		05	08																						34.0
	9	02330Z	Etchemin																													27.1
	10 à 15	02340	Chaudière (6)		03				09															01								79.2
	16	02343Z	Bras d'Henri														03	02														
	17	023701	Petite du Chêne														04	02														
	18-19	02400A	Bécancour (2)				04	01		05	02													01								92.6
03	20	03010A	Nicolet		04					05														01								134.3
	21-23	03010	Bulletrode (3)							04	02													01								55.7
	24-48	03020	Bassin St-François		04				02								07							01								85.0
	49-70	03030	Bass. Yamaska		05																			01								27.6
	175	03040	Richelieu																													
	71	030415	Des Hurons																													56.2
04		030901	Châteauguay		03																											
	73	04010C	Du Nord						04	04														01								
	74-75	04010	St-André (2)																													
05	76	046701	Du Chêne												07	10																
	77	050301	Batiscan								12																					50.5
	168	0504	Ste-Anne (bras nord)														01, 12															25.7
	78-81	05040	Ste-Anne		03			04									04	10														24.1
	82-83	05080	Jacques-Cartier (2)					02, 01	10																							22.10
	84	050904	St-Charles														03	10														
	85	05100B	Ruis. des Eaux-voilées		05																											
	86	05100P	Montmorency						05	11																						20.4
	169, 87	05120B	Ste-Anne-du-nord						11																							26.5
	88	051300	Du Gouffre							01, 12																						57.8
	89-91	05190	Ruis. Mailloix				03, 09																	01								82.9
	92-93	05220C	Assomption								01																					56.0
	94	052230	Rouge														03	10														73.0
	95	052601	Maskinongé							12																						
	96	052808	Du Loup														04															
	97	053003	Yamachiche												07																	
	98	053901	Du Cap-Rouge											04																		
06	99	06190A	Chamouchoane		05					03																						
	141	062803	Ste-Marguerite														04	06														
	170	07100	Outardes															01	12													
07	142	071701	Pentecôte														04															
	171	07360	St-Jean															02														
	172	07380	Romain														01	12														

Fig.5.3 Liste et résultats des stations sédimentologiques gouvernementales (Province de Québec, tributaire du St-Laurent 1965-1988).

N.B. Les concentrations moyennes sont évaluées au débouchures et à partir des débits liquide et solide moyens annuels.

5.2 Etat de connaissance (bilan d'entrée)

5.2.1 Concentrations en solides

Dans le cadre de la présente étude, nous avons effectué une analyse globale des concentrations mesurées sur l'ensemble des cours d'eau du système Saint-Laurent (fleuve et tributaires) pour arriver à définir le bilan sédimentaire de chaque secteur. La synthèse des données est intégrée aux études de bilan (voir figures 5.4a,b,c).

A) Saint-Laurent

L'ensemble des relevés montre que les concentrations en sédiments en suspension sont en général assez faibles en amont du lac Saint-Pierre.

Quelques ppm ($1 \text{ à } 2 \text{ mg.L}^{-1}$) sont enregistrées en moyenne à la sortie des Grands Lacs, pour atteindre $4 \text{ à } 5 \text{ mg.L}^{-1}$ au niveau du lac Saint-François, $7 \text{ à } 8 \text{ mg.L}^{-1}$ au lac Saint-Louis - dû notamment à l'influence des apports du secteur international incluant la région des Mille-Iles et de la rivière des Outaouais. La concentration atteint en moyenne 9 mg.L^{-1} à l'entrée du lac Saint-Pierre, pour connaître une croissance marquée jusqu'à 13 mg.L^{-1} due aux apports latéraux. Par la suite, les concentrations augmentent sensiblement et graduellement jusqu'à Québec pour atteindre environ 17 mg.L^{-1} . A l'aval de Québec, l'influence de la marée contribue à former le bouchon de turbidité (voir figure 5.5) à l'intérieur duquel les concentrations varient de ~~$25 \text{ à } 70$~~
 $35 \text{ à } 75$ mg.L^{-1} .

RÉGION DE MONTRÉAL

A

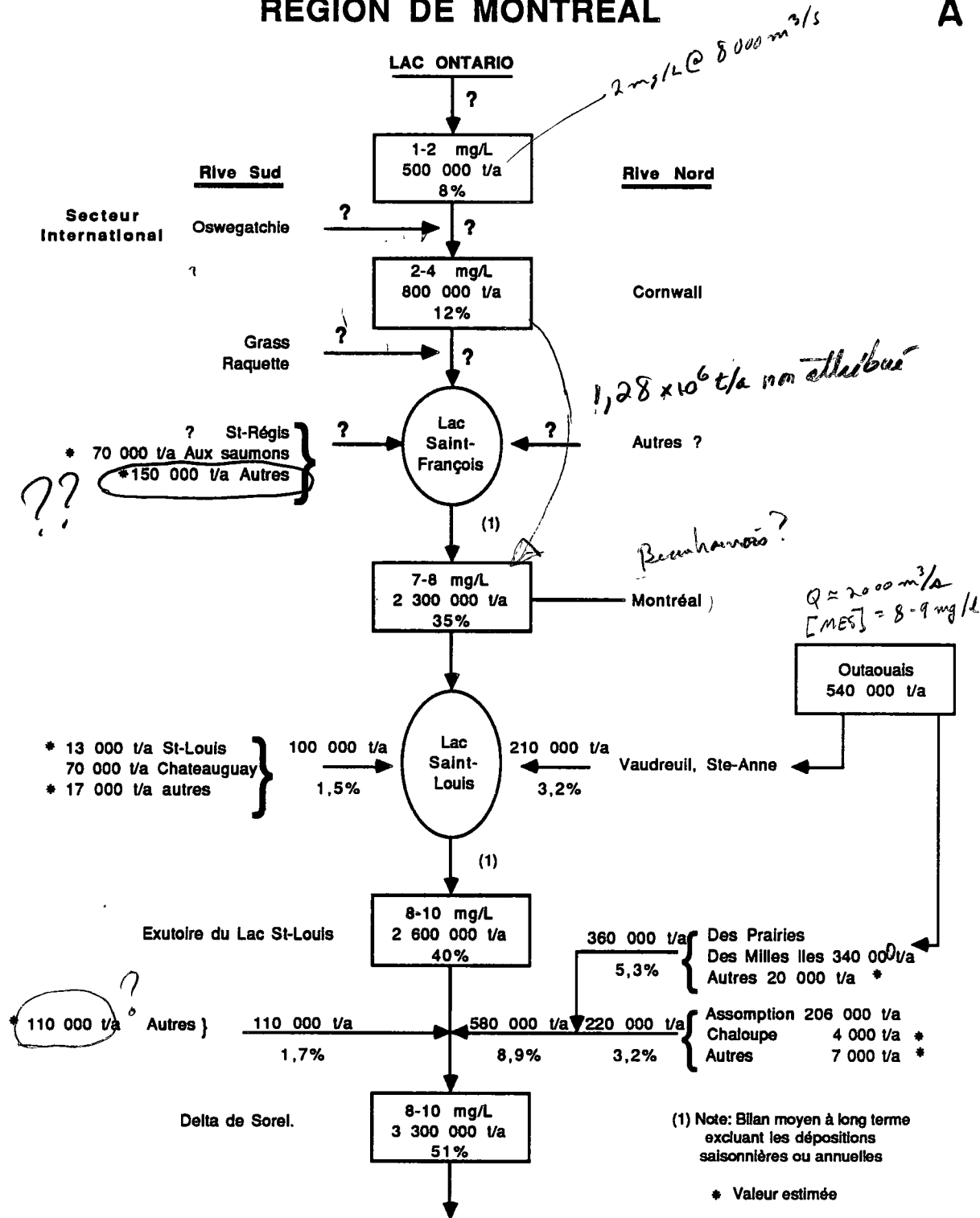


Figure 5.4a)

Bilan Sédimentaire

HYDROTECH INC.
OCT 1988

RÉGION DE TROIS-RIVIERES

B

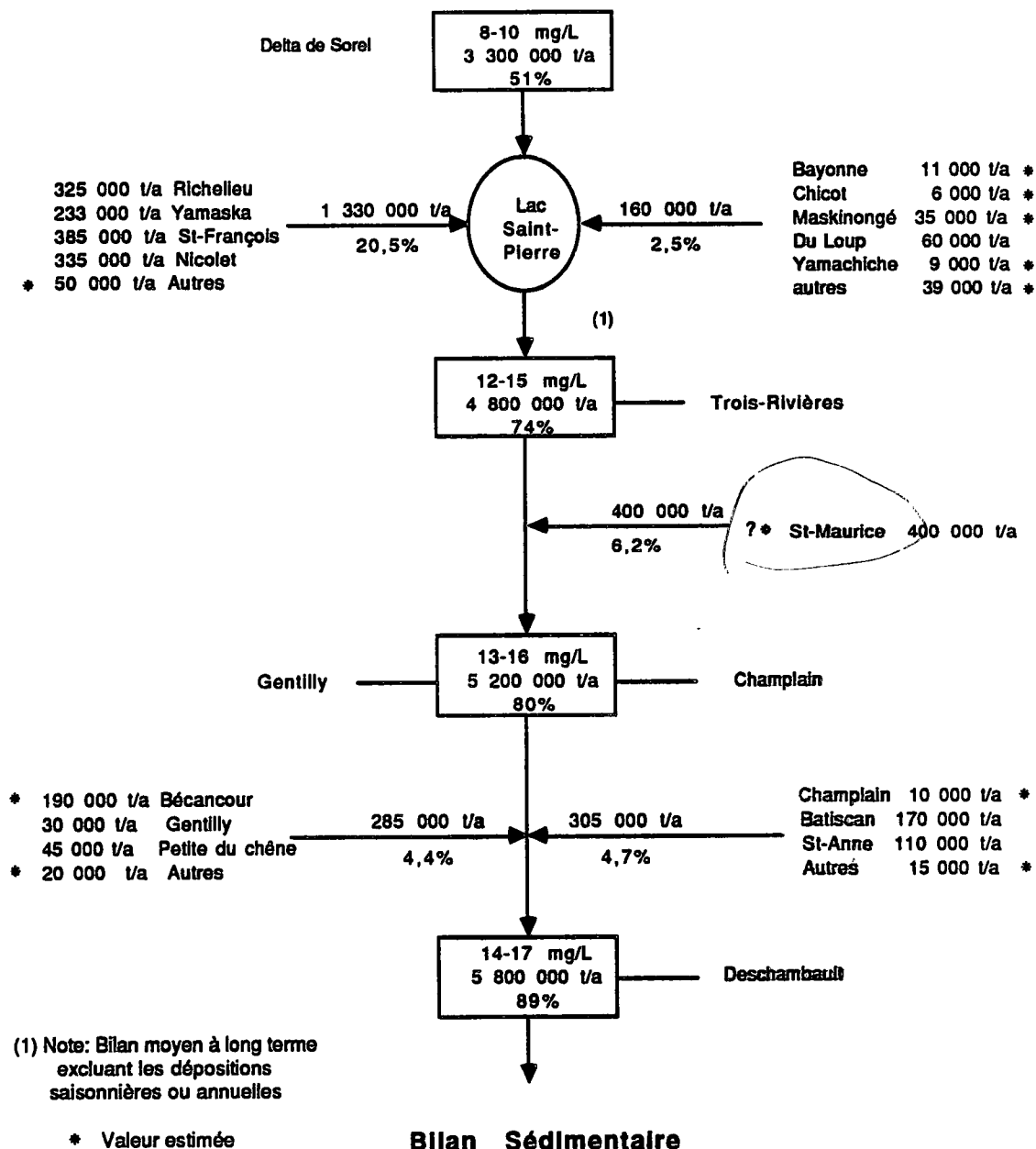
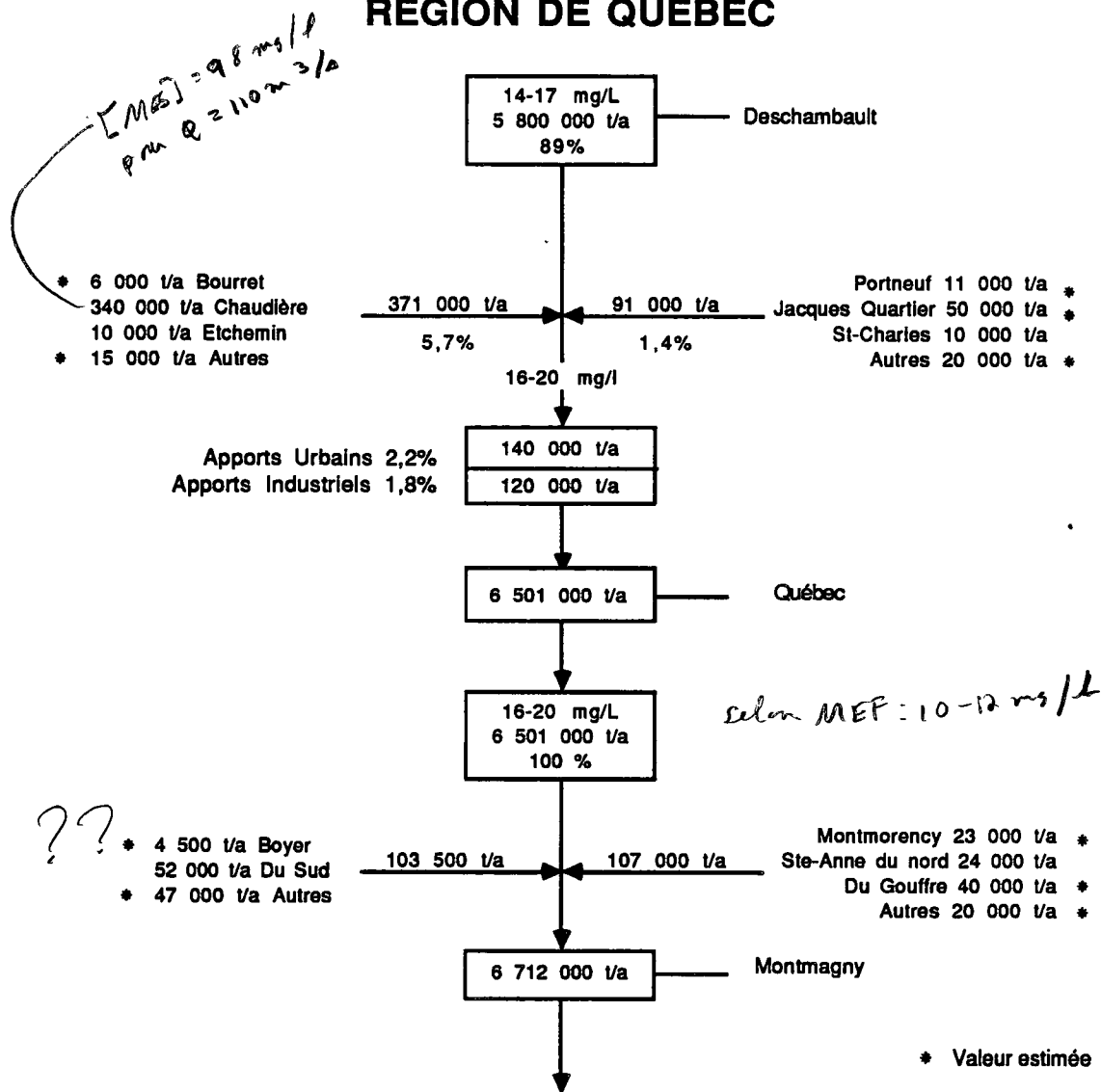


Figure 5.4 b)

HYDROTECH INC.
OCT 1988

RÉGION DE QUÉBEC

C



Bilan Sédimentaire

Figure 5.4 c)

HYDROTECH INC.
OCT 1988

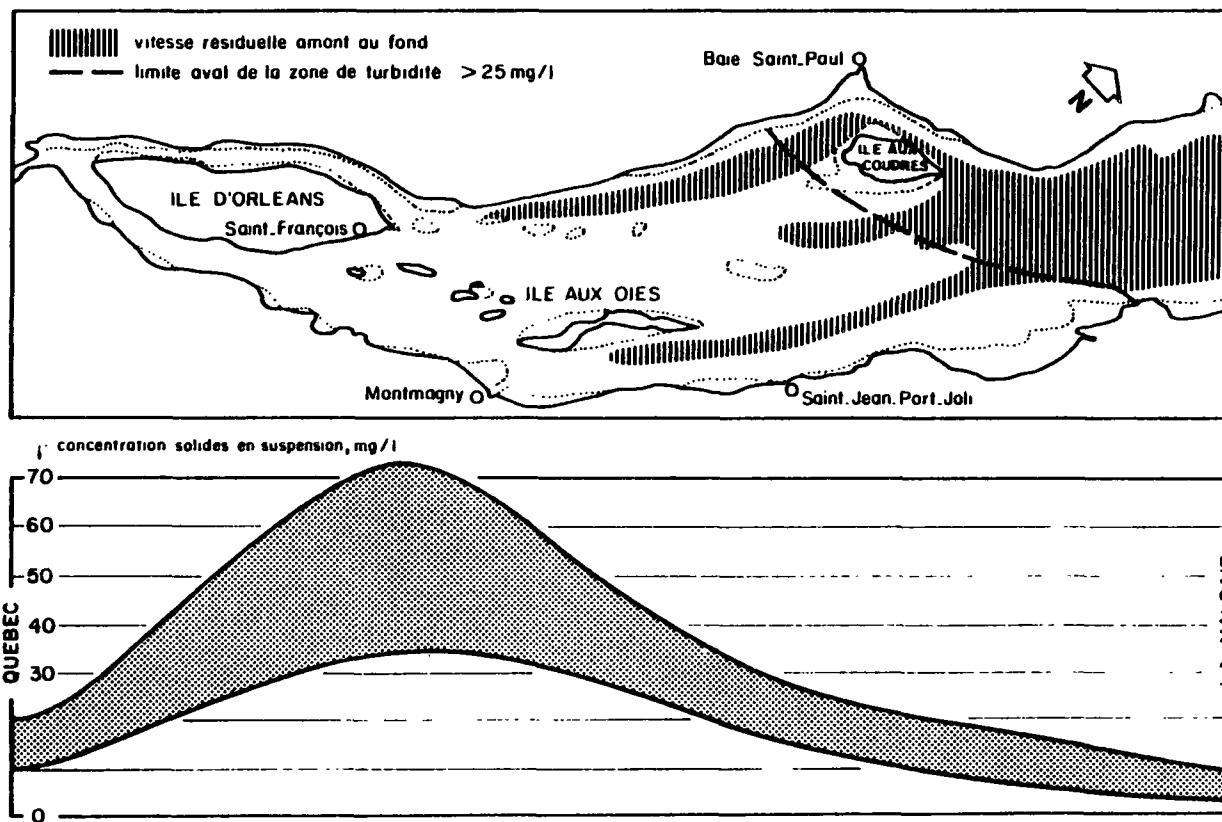


Fig. 5.5 - Distribution des matières en suspension dans la zone de mélange estuarienne.
Suspended matter distribution in estuarine mixing area.

Source: Centreau, 1976.

Il est à noter que les valeurs ci-dessus présentent des moyennes générales à long terme. A court terme, cependant, comme par exemple au printemps, les concentrations peuvent être beaucoup plus élevées, mais il existe très peu de données sur le sujet. Sur le Saint-Laurent même, à la station Lasalle (7 années d'observations), les concentrations ont varié de 0 à 40 mg.L⁻¹ (moyenne 8 mg.L⁻¹) tandis que sur la rivière des Outaouais, il arrive fréquemment que les concentrations dépassent les 700 mg.L⁻¹. Comme nous le verrons ci-après, le phénomène est encore plus marqué pour les autres tributaires aval où les concentrations dépassent facilement 1 000 mg.L⁻¹. Tant et si bien que les concentrations locales, dans les divers corridors d'écoulement du fleuve, notamment près des rives, peuvent être nettement plus élevées que les moyennes observées dans le chenal maritime.

B. Les tributaires

La figure 5.3 résume l'ensemble des observations disponibles et présente la gamme des résultats obtenus sur chacune des rivières jaugées du Québec selon chaque région hydrographique. Contrairement au Saint-Laurent, la plupart des tributaires peuvent atteindre des concentrations très élevées. Ce sont surtout les bassins à vocation agricole qui fournissent le plus de sédiments et qui enregistrent ainsi les concentrations moyennes les plus élevées.

A titre de comparaison, la concentration maximale mesurée sur la rivière Chaudière est de 3 251 mg.L⁻¹. Pour les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François, Nicolet et Assomption, les concentrations maximales observées ont varié entre 1 000 et 5 800 mg.L⁻¹ tandis que pour les rivières Sainte-Anne et Batiscau, elles se situent entre 200 et 5 800 mg.L⁻¹. Quant aux concentrations moyennes, elles varient entre 50 à 150 mg.L⁻¹ d'une rivière à l'autre pour les bassins agricoles et entre 20 à 40 mg.L⁻¹ pour les bassins forestiers.

la valeur moyenne utilisée par un chargé de 340 000 t/a est de 98 mg/L

Le traitement de toutes ces données a fait l'objet d'une modélisation mathématique en termes d'apports et de bilan sédimentaire du fleuve, en allant de l'amont vers l'aval. La modélisation visait à déterminer pour chaque rivière:

- la concentration moyenne;
- la concentration maximale;
- le débit solide annuel de chaque année d'observations;
- le débit solide annuel: max., moy., min.;
- le sédimentogramme annuel;
- la courbe d'apports solides cumulés comparée à la courbe de débit liquide classé;
- la répartition des apports crue/étiage.

La synthèse des résultats est présentée ci-après, les fiches techniques de chaque rivière étant consignées en dossier. Néanmoins, nous présentons un exemple type (rivière Châteauguay) des graphiques contenus dans les fiches techniques caractérisant chaque cours d'eau (voir figure 5.6.a,b,c,d). En annexe, nous présentons à titre d'exemple les détails complets du contenu des fiches (ex.: rivière Chaudière).

A partir des résultats de la modélisation, nous avons également établi la carte de dégradation spécifique des sols ($t/km^2/an$) de la vallée du Saint-Laurent (planche no 4).

5.2.2 Apports solides

Tel que mentionné antérieurement, les fonds du fleuve contribuent peu au bilan sédimentaire, les sources principales d'apports solides étant les tributaires en aval des Grands Lacs. La modélisation mathématique a permis d'indiquer l'ensemble de ces apports en fonction de chaque bassin et par la suite de comparer les résultats aux observations effectuées dans le Saint-Laurent (voir planche 5 et figures 5.4a,b,c).

DEBIT SOLIDE versus DEBIT LIQUIDE

RIVIERE CHATEAUGUAY

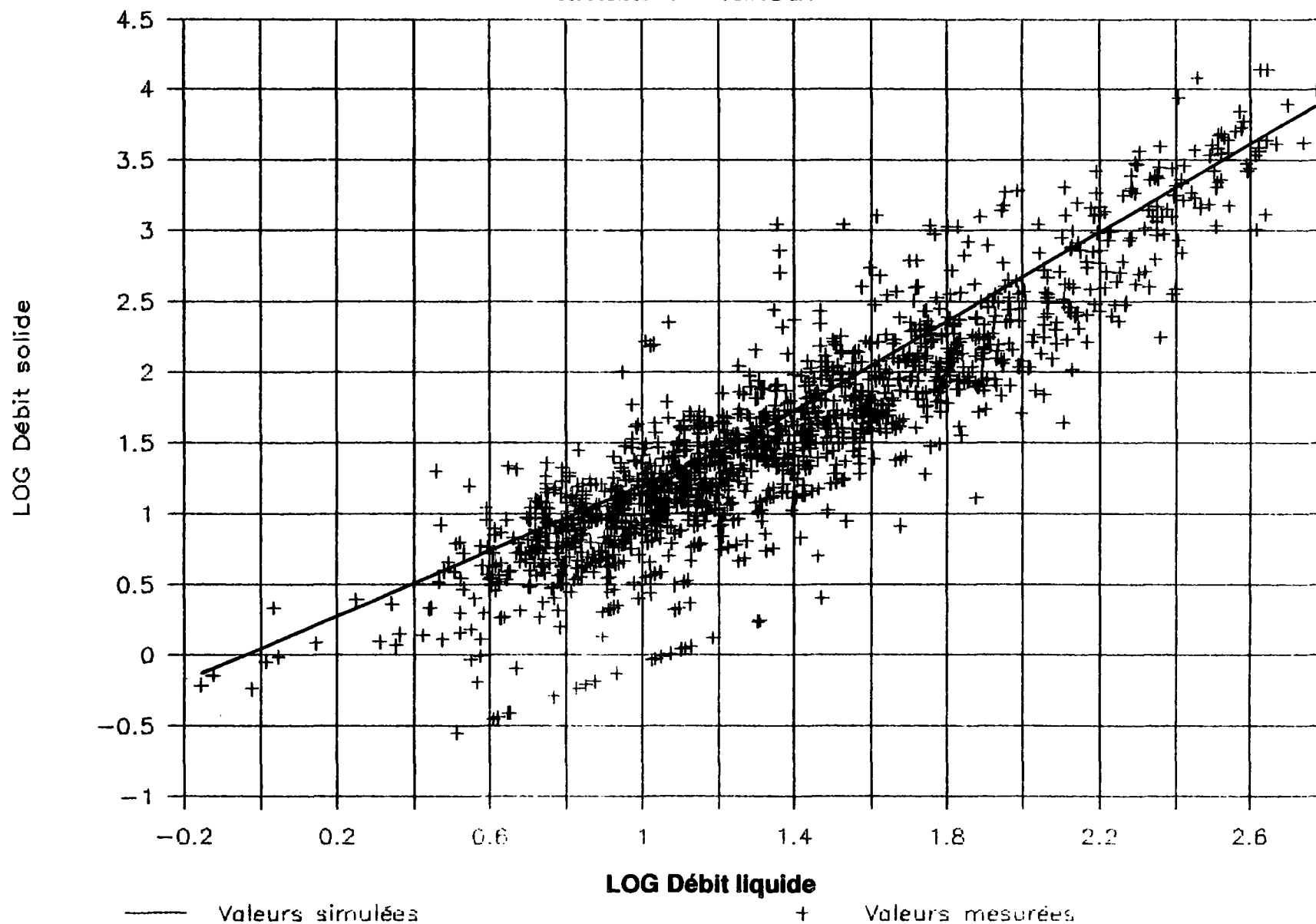


Fig. 5.6 a

COURBE QL CLASSES VS QS CUMULES.

RIVIERE CHATEAUGUAY

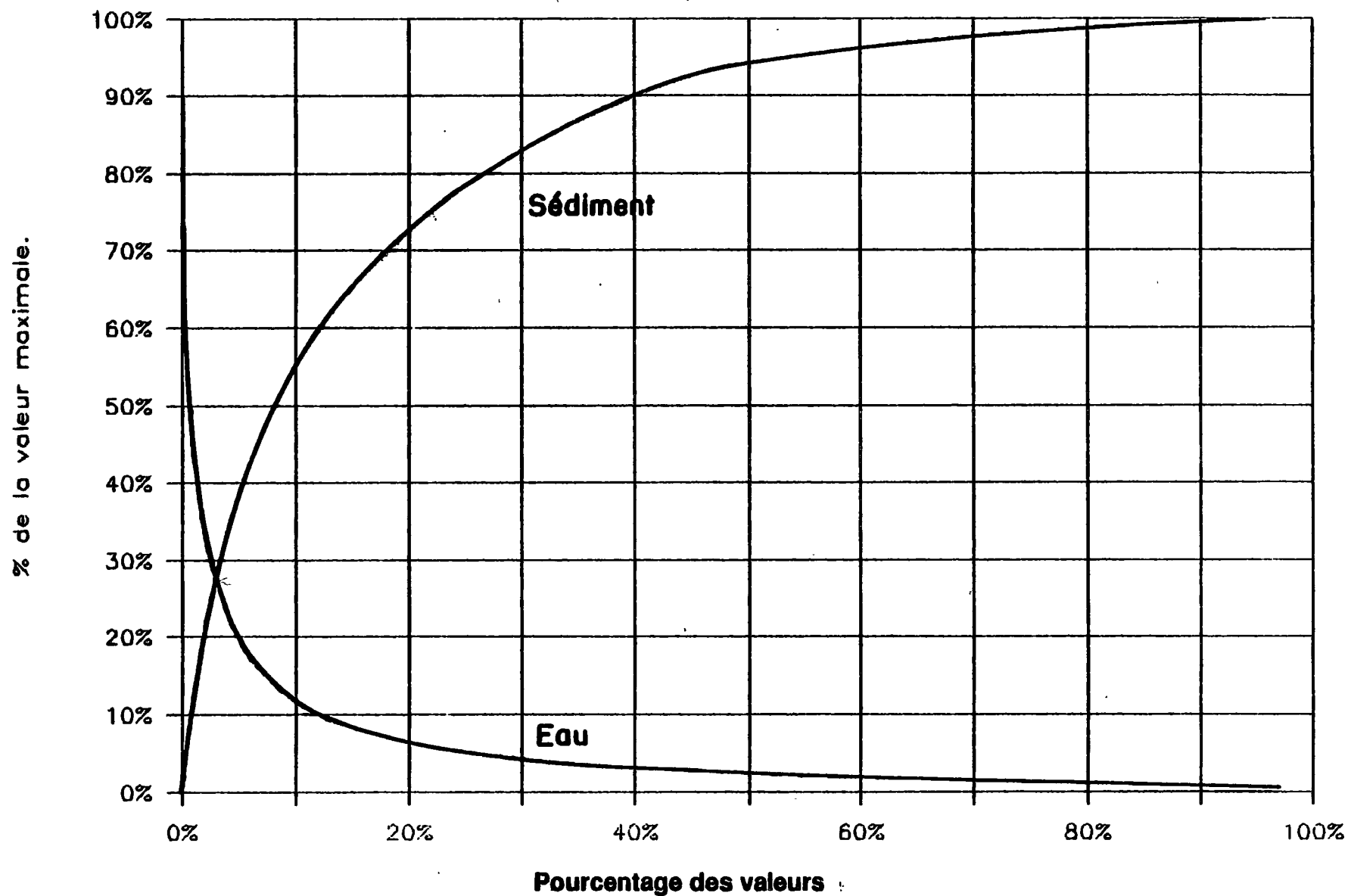


Fig. 5.6 b

Sédimentogramme

RIVIERE CHATEAUGUAY

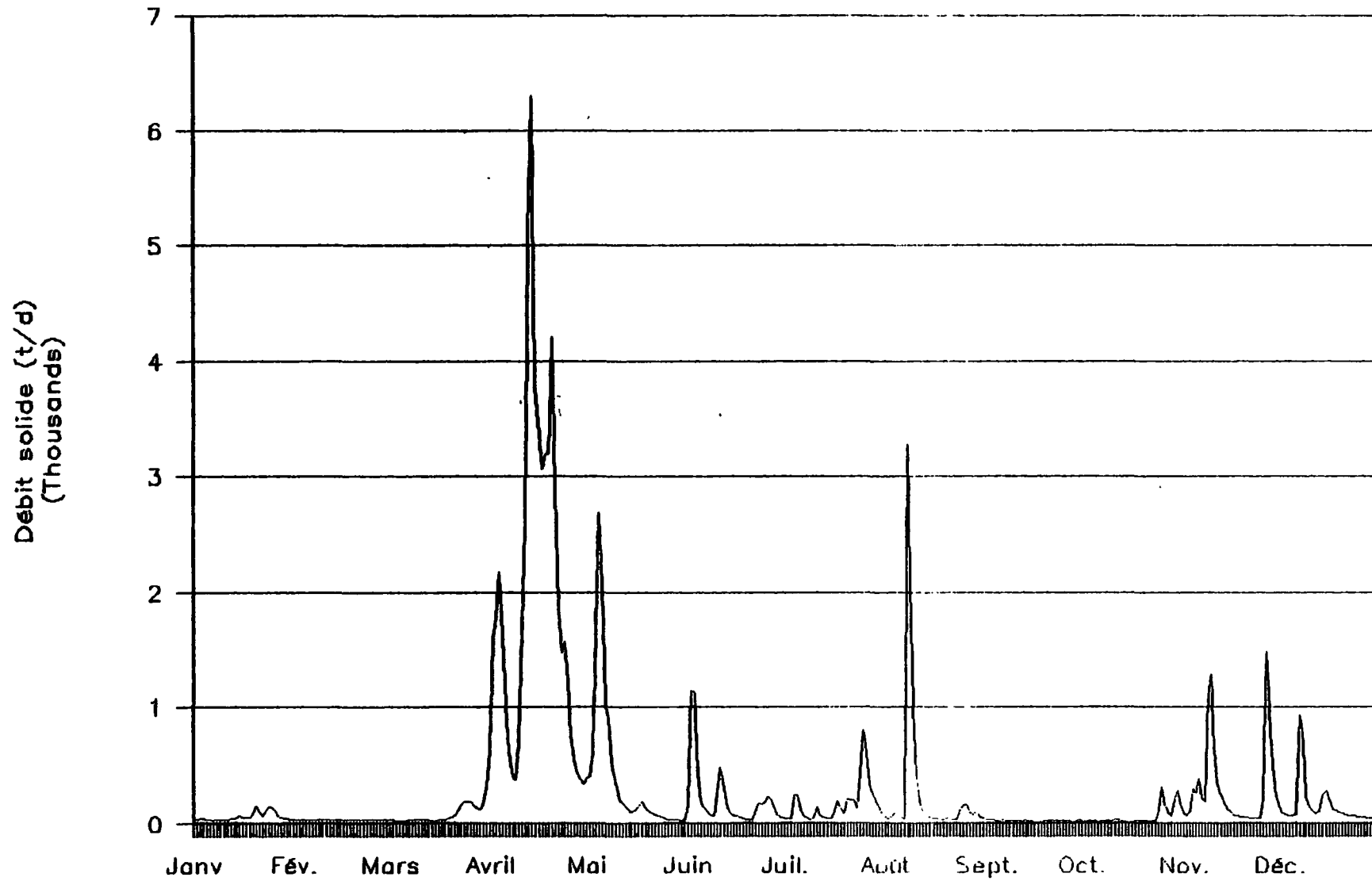
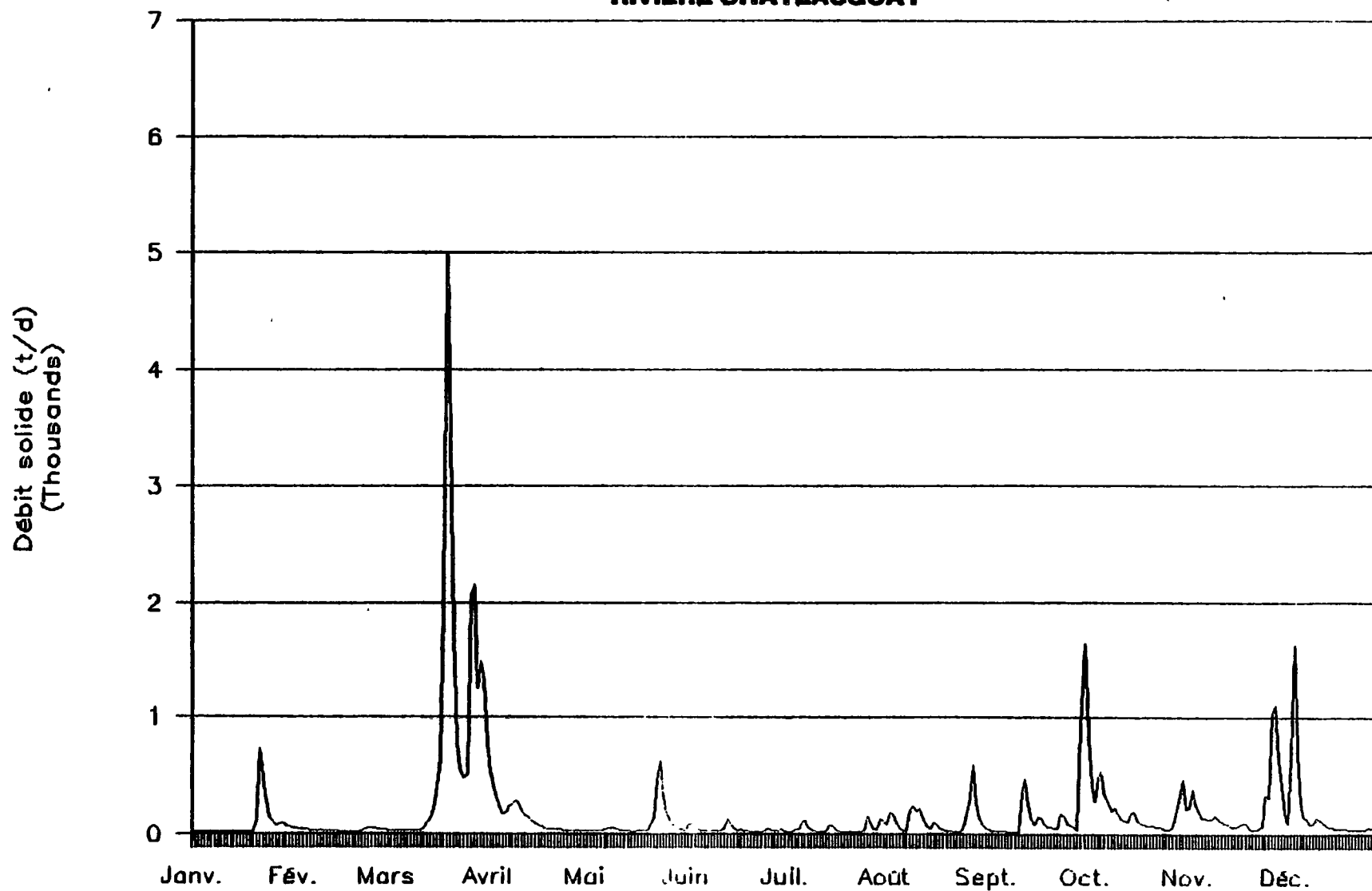


Fig. 5.6 c

Sédimentogramme

RIVIERE CHATEAUGUAY



Année moyenne 1986

Fig. 5.6 d

A) Apports des Grands Lacs

La constance du débit liquide, les faibles concentrations en solides associées à la régularisation des eaux et la dimension des Grands Lacs entraînent de faibles apports en tête du fleuve qui correspondent à environ $230\,000\text{ t.a}^{-1}$ pour chaque ppm (concentration moyenne 1,2 ppm). Donc, d'une année à l'autre, on estime entre 250 000 à 500 000 tonnes la contribution des Grands Lacs à la charge sédimentaire du Saint-Laurent, soit entre 8% et 16% des apports observés à Québec.

B) Apports des autres tributaires amont

Dans le cadre des études du projet Archipel, des simulations ont été réalisées au niveau du lac Saint-Louis pour le compte d'Hydro-Québec (Frenette et Nzakimuena, Hydrotech Inc. 1982). Deux campagnes de mesures sur le terrain ont été réalisées (1981-1982) en vue d'étalonner le modèle aux sites suivants: Saint-Laurent (barrages Beauharnois et les Cèdres), rivière des Outaouais (chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne), et rivière Châteauguay. Plusieurs conditions hydrologiques ont été simulées. Les figures 5.7a, b, c, d, résument les principales conditions d'entrée de sédiments simulées pour les années 1972, 1974 et 1981 et pour des conditions de crues centenales.

Règle générale, on constate que la contribution mensuelle du Saint-Laurent est relativement uniforme, à l'exception des mois de janvier, février et mars, tandis que les tributaires (rivière des Outaouais et Châteauguay) se manifestent de façon très marquée au printemps; particulièrement en avril et en mai. A l'exception de l'hiver où la charge mensuelle est inférieure à 100 000 tonnes, en été et en automne les apports oscillent autour de 200 000 tonnes par mois. En crue exceptionnelle (voir figure 5.7d), on constate que la charge mensuelle d'avril s'approche des 700 000 tonnes.

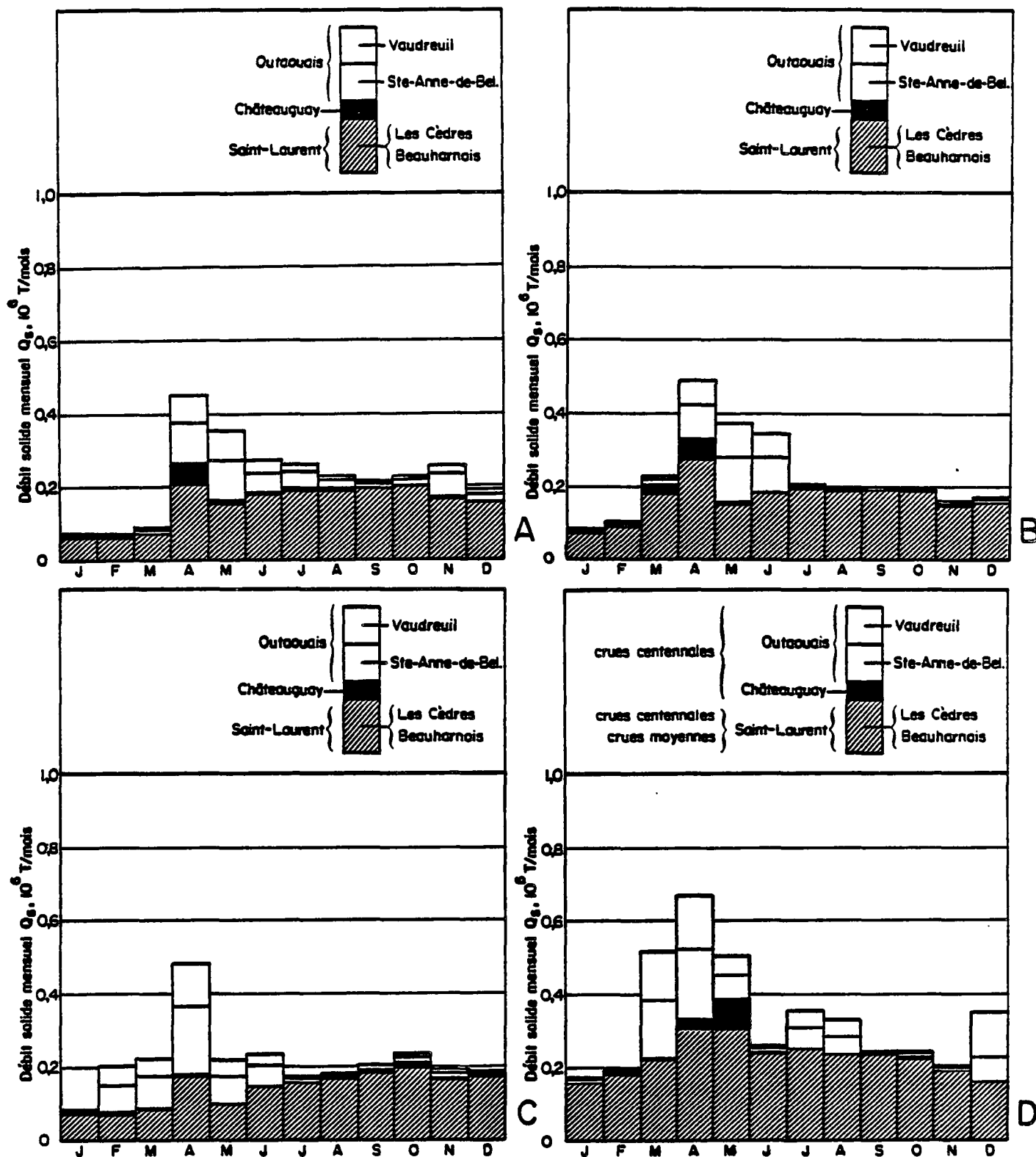


Fig.5.7–Apports solides simulés du lac Saint-Louis ;
A) 1972, B) 1974, C) 1981, D) conditions extrêmes (100 ans)

Source: Hydrotech, (1983) pour Hydro-Québec.

Les bilans de sortie comparés aux bilans d'entrée ont également été simulés dans le cadre du projet Archipel (Hydrotech inc. 1982). Nous reproduisons ci-après (voir figure 5.8a,b,c,d) les résultats cumulés pour les mêmes conditions que ci-dessus. Les résultats donnent:

Données maximales fig 5.6 c (p 74)

Année	Conditions	Débits solides		Sédimentation (Z)	
		Entrée t.a ⁻¹	Sortie t.a ⁻¹	t.a ⁻¹	
1972	Moyenne	2 685 305	2 172 130	513 175	(19.1)
1974	Crue	2 762 972	2 724 016	38 956	(1.4)
1981	Moyenne	2 661 982	2 196 416	465 567	(17.5)

De l'ensemble des résultats des simulations, il découle que:

- sur les intrants, les crues du Saint-Laurent (Grands Lacs) ont peu d'influence, sauf pour les crues extrêmes où les apports solides peuvent atteindre 4 millions de tonnes par année. Par contre, sur les conditions de sortie, le rôle des crues est plus important car elles font la différence entre le taux de sédimentation, l'état d'équilibre ou l'entraînement de sédiments déjà déposés;
- ainsi pour les années moyennes, le taux de sédimentation est estimé de 400 000 à 500 000 t.a⁻¹ (15 à 20%). Par contre, une crue comme celle de 1974 présente un équilibre entre les entrées et les sorties et au-delà il y a un risque élevé d'érosion des fonds;
- comme le montre la série de figures 5.8, la sédimentation a lieu particulièrement au printemps, surtout de la mi-mars à la mi-mai, par la suite les bilans deviennent équilibrés. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au printemps, la taille des particules en suspension dans les cours d'eau est plus grossière, donc

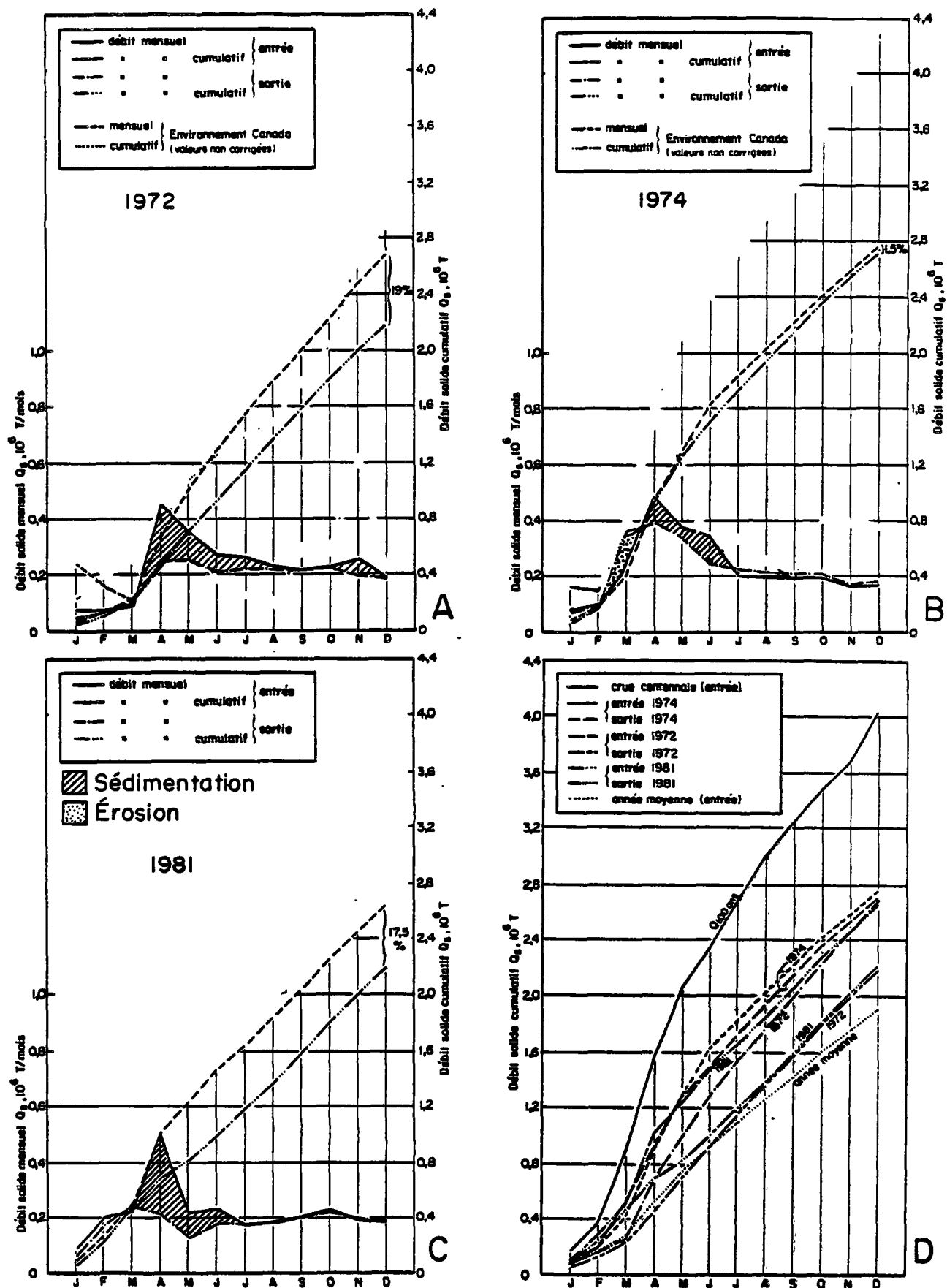


Fig. 5.8—Bilans sédimentaires simulés du lac Saint-Louis, années: A) 1972, B) 1974, C) 1981 et D) conditions cumulées comparées à une crue centennale

Source: Hydrotech, (1983) pour Hydro-Québec.

plus facilement décantable, tandis qu'en périodes d'étiage la taille est beaucoup plus fine (particules colloïdales ou organiques) donc peu sujettes à sédimenter.

- d'après la simulation donc, ce sont les apports du printemps qui affectent le plus les fonds du lac Saint-Louis, alors que, règle générale, tous les relevés sont effectués en été.

Naturellement, ces données ne prennent pas en compte les mouvements de fond reliés aux effets éoliens susceptibles de se produire en tout temps de l'année, sauf en hiver. Donc, les débits de sortie (extrants) sur une base annuelle doivent être considérés comme des minima, puisque dans des études plus poussées, il faudrait tenir compte de tous les paramètres incluant les effets éoliens. Néanmoins, ces simulations sur le lac Saint-Louis ont permis d'apporter un bien meilleur éclairage sur la dynamique des sédiments dans le secteur, lequel éclairage devrait pouvoir être transposé à tous les lacs (Saint-Laurent, Saint-François, des Deux-Montagnes et Saint-Pierre).

5.2.3. Caractérisation par secteur

Région de Montréal, des Grands Lacs, à Sorel incluant le secteur international)

. Rive sud du Saint-Laurent

Les seules rivières d'importance au Québec dans ce secteur allant jusqu'au delta de Sorel sont la rivière Châteauguay (tonnage moyen annuel: 70 000 t.a⁻¹) et la rivière Saint-Louis (13 000 t.a⁻¹). Plus en amont, dans le secteur

international, il existe plusieurs cours d'eau, telles les rivières Oswegatchie, Grass, Raquette, Saint-Régis et Aux Saumons (au Québec) pour lesquelles il nous a été impossible d'obtenir des données. L'ensemble de ces sous-bassins américains dépassent en superficie le bassin de la rivière Chaudière. Compte tenu de la densité démographique et industrielle de la région et des activités de la région des Mille-Iles, on doit donc s'attendre à une charge sédimentaire assez élevée (et contaminée) en provenance du secteur international.

. Rive nord du Saint-Laurent

Les apports au lac Saint-François, sur le côté nord, sont très limités, vu les faibles superficies de drainage et la présence de la rivière des Outaouais qui draine la plus grande partie du bassin jouxtant le lac Saint-François. Au total, les apports solides en rive nord sont estimés à 40 000 t.a⁻¹.

La principale source de sédiments dans le secteur aval de la région est la rivière des Outaouais (540 000 t.a⁻¹) qui injecte 210 000 tonnes en moyenne dans le lac Saint-Louis et le reste en aval de Montréal via les rivières des Prairies et des Mille-Iles (total 360 000 t.a⁻¹) incluant les apports des autres affluents. L'autre rivière importante dans ce secteur est la rivière l'Assomption (206 000 t.a⁻¹) suivie de loin par plusieurs petits cours d'eau comme les rivières Duchêne, Aux Chiens et Mascouche.

. Apports industriels

Les apports industriels et urbains jetés directement au fleuve sont estimés pour l'ensemble du Saint-Laurent à 120 000 t.a⁻¹ et 140 000 t.a⁻¹ respectivement, la majeure partie étant attribuable à la région de Montréal (bien que la répartition par région n'a pas été établie).

Ainsi donc, au niveau des secteurs les plus sensibles de la région sur le plan sédimentologique, la charge solide à la sortie de chaque lac est estimée à:

- Grands Lacs	entre 500 000 et 1 000 000 t.a ⁻¹
- Lac Saint-François	~ 2 000 000 t.a ⁻¹ *
- Lac Saint-Louis	~ 2 600 000 t.a ⁻¹
- Lac des Deux-Montagnes	~ 550 000 t.a ⁻¹

* Les données ne permettent pas de préciser davantage la charge solide à la sortie des Grands Lacs, du lac Saint-Laurent et du lac Saint-François. Pour le lac Saint-Louis, les résultats de simulations ont démontré une bien meilleure connaissance, bien qu'incomplète.

B) Région de Trois-Rivières: du delta de Sorel à Deschambault

. Rive sud

C'est le secteur le plus actif sur le plan sédimentologique avec les apports des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet. Celles-ci injectent à elles seules près de 1,33 millions de tonnes de sédiments par année dans le lac Saint-Pierre.

Plus en aval, les rivières Bécancour, Gentilly, Duchêne, en plus des bassins résiduels apportent en moyenne 285 000 t.a⁻¹ au fleuve.

. Rive nord

Au niveau du lac Saint-Pierre, les bassins sur la rive nord couvrent une superficie moins grande que ceux sur la rive sud. Ainsi, les

rivières Bayonne, Chicot, Maskinongé, du Loup et Yamachiche apportent environ 160 000 t.a⁻¹ de sédiments dans le lac Saint-Pierre. Au total les apports dans le lac Saint-Pierre sont estimés à 4 800 000 t.a⁻¹.

En aval du lac Saint-Pierre, le Saint-Maurice fournit la majeure partie des apports dans le secteur. Bien que non jaugé, on estime ses apports à environ 400 000 t.a⁻¹. Les rivières Batiscan, Sainte-Anne, Champlain et autres petits cours d'eau ajoutent 305 000 t.a⁻¹, pour un total de 865 000 t.a⁻¹.

Au grand total, donc, la région de Trois-Rivières contribue pour près de 2,5 millions de tonnes de sédiments, en plus des 2.3 millions de tonnes venant de la région de Montréal, dont une grande partie (60%) transite dans le lac Saint-Pierre.

C) Région de Québec: de Deschambault à Montmagny

. Rive sud

Les deux principales rivières du secteur sont la rivière Chaudière (340 000 t.a⁻¹) et la rivière du Sud (52 000 t.a⁻¹). A cela s'ajoute la contribution des autres bassins - rivière Bourret, Etchemin et Boyer, pour un grand total de l'ordre de 475 000 t.a⁻¹.

. Rive nord

Les rivières Portneuf, Jacques-Cartier, Saint-Charles, Montmorency, Sainte-Anne-du-Bras-Nord, et autres bandes riveraines, drainent au fleuve environ 160 000 t.a⁻¹ ou 200 000 t.a⁻¹ si on y ajoute la rivière du Gouffre.

Bref, la région de Québec est la moins active au niveau des apports solides au fleuve avec un grand total de l'ordre de $670\,000\text{ t.a}^{-1}$ entre Deschambault et Montmagny. La somme à Québec est de $6\,500\,000\text{ t.a}^{-1}$.

5.2.4 Nature des sédiments en suspension

a) Saint-Laurent

La taille des particules en suspension est à toutes fins pratiques inconnue. Au niveau du lac Saint-Louis (projet Hydro-Québec) quelques échantillons ont démontré la répartition suivante pour des conditions de crues:

- silt 30%
- argile 70%

En périodes d'étiage, la taille des particules devient normalement beaucoup plus fine, se limitant à des particules de nature organique ou colloïdale, donc peu sujettes à la sédimentation. C'est ainsi par exemple, que des analyses effectuées dans l'estuaire par Ledoux et Frenette - Centreau (1975) ont démontré que 50% de la masse totale des solides en suspension était constituée de particules inférieures à 10 microns.

b) Tributaires

Aucune donnée sur la nature des sédiments en suspension n'a été portée à notre connaissance.

5.2.5 Apports des effluents urbains et industriels

D'après les études exhaustives déposées en 1977 par CEFSL*, la charge solide fournie au fleuve par les effluents urbains situés en amont de Québec s'élève à 140 000 tonnes annuellement, ce qui représente en moyenne 2,2% de la charge totale. De plus, on évalue à $120\,000\text{ t.a}^{-1}$ la contribution des industries, ce qui représente 1,8% de la charge totale.

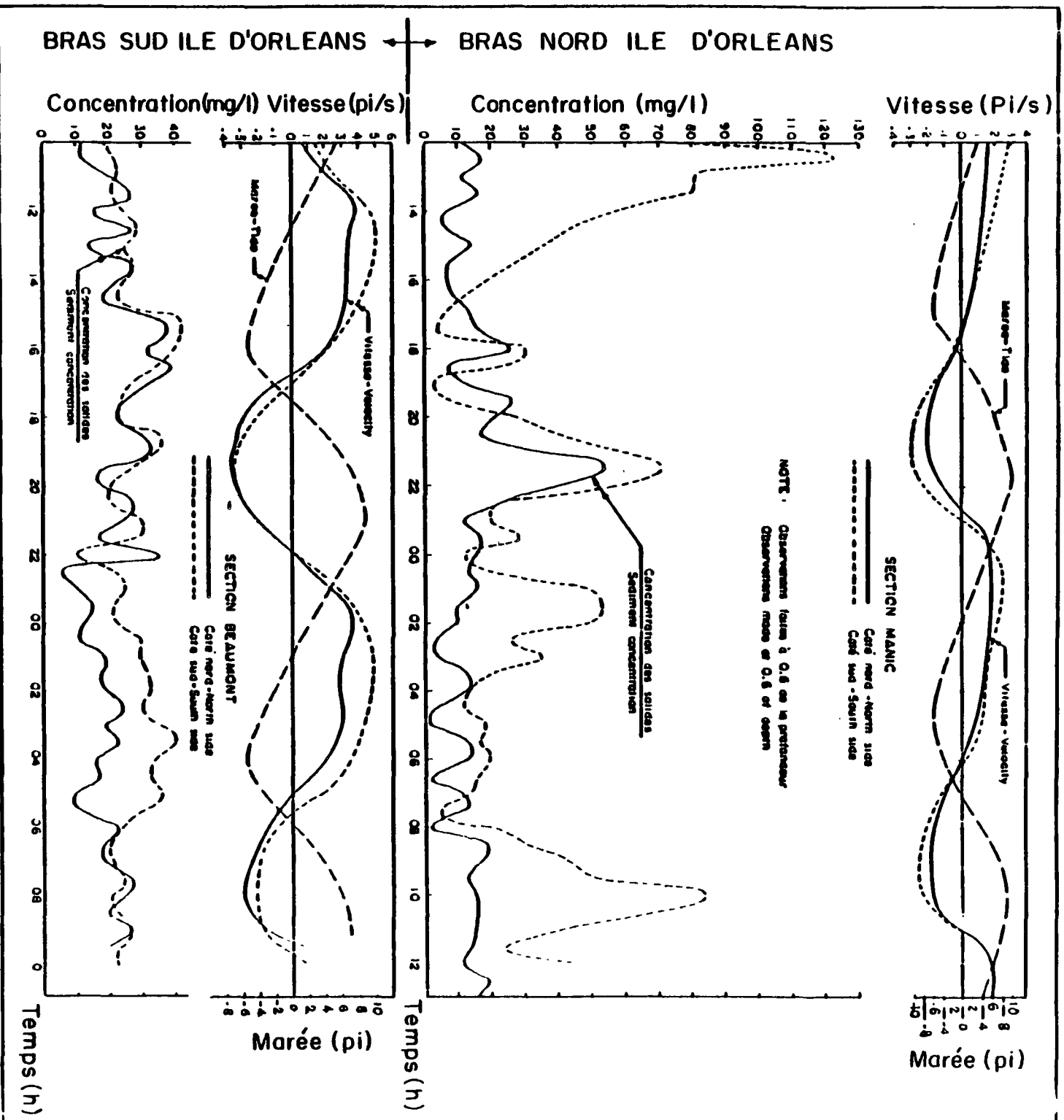
Bien qu'en termes de quantité, la masse sédimentaire acheminée par les effluents urbains et industriels constitue un apport plutôt faible, en termes de qualité, le caractère ponctuel des effluents et la qualité même des mélanges eau-sédiments peuvent entraîner une contamination très prononcée localement.

5.3 Bilan de sortie (estuarien)

Les bilans sédimentaires au niveau de l'estuaire sont très difficiles à établir à cause de la présence de la marée. On connaît bien sûr la présence du bouchon de turbidité entre Québec et l'île aux Coudres tel que le montre la figure 5.5 avec des concentrations variant entre 25 et 70 mg.L^{-1} en moyenne.

L'oscillation des concentrations en fonction des marées a pu être mise en évidence aussi dans le secteur de l'île d'Orléans (Frenette et Larinier) qui démontre une variation très aléatoire atteignant parfois des pointes au-delà de 100 mg.L^{-1} (voir figure 5.9) en période normale. Au moment des crues ou par grands vents, les concentrations devraient normalement atteindre des pointes de concentrations plus élevées. Malheureusement, aucune donnée n'est disponible.

* Comité d'étude du fleuve Saint-Laurent.



VITESSE ET CONCENTRATION DES SÉDIMENTS EN SUSPENSION EN FONCTION DU TEMPS, ÎLE D'ORLÉANS (1971)
Source: Frenette et Larinier, Centreau, 1971.

Fig. 5.9

Au niveau de l'estuaire, D'Anglejean (1973) a évalué à moins de un million de tonnes par année les sédiments en suspension qui réussissent à s'échapper du bouchon de turbidité par la phase aqueuse. Le déplacement des sédiments sur ou près des fonds ainsi que l'adhérence des sédiments aux glaces flottantes sont évoqués comme mécanismes beaucoup plus efficaces d'évacuation de la charge en suspension provenant de l'amont (D'Anglejean et al, 1974, 1978).

Il importe aussi de prendre en considération les possibilités de remise en suspension lors des tempêtes, le secteur étant soumis à des vagues de fortes amplitudes lors de grands vents.

5.4 Charriage de fond

Très peu de mesures visant à évaluer le débit solide de charriage furent réalisées sur le fleuve Saint-Laurent et, à notre connaissance, aucun tributaire n'a fait l'objet de relevés spécifiques.

Les seules données disponibles demeurent donc celles réalisées par le Ministère des Transport (1970) dans la région de Gentilly et en aval de l'île d'Orléans. Les débits de charriage furent alors évalués à 140 et 121 tonnes par jour (environ $50\,000\text{ t.a}^{-1}$) à Gentilly et à Champlain. Des évaluations théoriques réalisées par Frenette et Larinier (1971) ont permis d'estimer la capacité de transport solide de fond entre 50 et 500 tonnes par jour ($20\,000$ et $200\,000\text{ t.a}^{-1}$), dépendant des sites et de la période de l'année, soit à moins de 5% du débit solide total annuel à Québec.

Notons enfin que les volumes de solides dragués pour l'entretien de la voie navigable sont de bons indicateurs du transport solide de fond. Ainsi, par exemple, on extrait en moyenne $300\,000\text{ t.a}^{-1}$ de sédiments entre les Grands

Lacs et Québec (voir chapitre sur le dragage) dont 100 000 t (33%) dans le seul secteur du lac Saint-Pierre. Les mouvements de fond, les sables en particulier, provenant des tributaires auraient donc tendance à se déposer à l'intérieur des lacs, comme dans le lac Saint-Pierre.

5.5 Synthèse des bilans

De façon à résumer l'ensemble des données, nous avons dressé la carte synthèse (voir planche 5) des apports liquides et solides cumulés au niveau de chaque tributaire, que nous avons par la suite transformés en concentrations moyennes équivalentes au niveau du fleuve.

Ces concentrations équivalentes (courbes en continu) ont été comparées à l'ensemble des mesures "in situ", effectuées par divers intervenants depuis 1967.

Comme ce bilan sédimentaire représente des conditions moyennes à long terme, nous avons admis par hypothèse qu'aucune sédimentation fine avait lieu dans les lacs à long terme, et ce, basée sur les simulations réalisées au niveau du lac Saint-Louis (voir figures 5.7 et 5.8) qui ne prennent pas en compte les effets dynamiques extrêmes (crues, vents...).

La concordance des résultats est significative et semble bien confirmer que les premiers bilans sédimentaires présentés dans ce rapport correspondent assez bien à la réalité.

On notera également sur cette carte les caractéristiques suivantes pour chaque tributaire analysé.

Q_s moy: débit solide moyen annuel.
 Q_s max: débit solide maximal annuel observé.
 Q_s min: débit solide minimal annuel observé.
 C moy : concentration moyenne.
 C max: concentration maximale.

Compte tenu donc que les tributaires constituent la plus grande source d'apports solides au fleuve, il est clair que d'une année à l'autre le bilan sédimentaire du Saint-Laurent varie. Par exemple, les charges solides maximales annuelles atteignent à peu près le double de la charge moyenne et l'inverse est observé en période de faible débit. Ainsi, pour les années de forte hydraulicité - notamment lors de pointes de crues printanières élevées, le bilan sédimentaire à Québec peut fort bien atteindre une charge annuelle aussi élevée que 10 à 12 millions de tonnes (comparé à 6 500 000 t.a⁻¹) alors qu'en périodes de faible hydraulicité la charge sédimentaire peut devenir inférieure à 4 millions de tonnes annuellement.

5.6 Discussion générale

Le débit solide en suspension est estimé en moyenne à 6,5 millions de tonnes par année à Québec, mais peut varier d'une année à l'autre entre 4,0 et 12 millions de tonnes dépendant des conditions hydrologiques printanières.

Selon la moyenne à Québec, la répartition géographique des apports en sédiments s'établit comme suit:

- apports des Grands Lacs	= 500 000 t.a ⁻¹ (7%)
- apports du tronçon international	= 300 à 500 000 t.a ⁻¹ (5%)
- apports à la rivière des Outaouais	= 540 000 t.a ⁻¹ (8%)
- apports des tributaires du Québec	= 4 500 000 t.a ⁻¹ (70%)

- apports des effluents urbains et industriels	= 240 000 t.a ⁻¹ (3%)
- transport de fond (d'après les dragages) en aval du lac Saint-Pierre	= <u>200 000 t.a⁻¹ (2%)</u>
Total	: 6 500 000 t.a ⁻¹

Note: ce bilan ne prend pas en compte la sédimentation potentielle dans les lacs Saint Laurent, Saint-François, Saint-Louis, des Deux-Montagnes et Saint-Pierre.

Contrairement aux apports liquides provenant en majorité des Grands Lacs, les sédiments du Saint-Laurent proviennent donc en très grande partie du Québec.

Influence des saisons

D'après le traitement des données, entre 60% et 70% de la charge sédimentaire transite dans les cours d'eau en périodes de crues printanières, les mois d'avril et mai étant les plus actifs. Donc, à priori, près de 4 millions de tonnes de sédiments sur les 6,5 millions transitent en moyenne durant les trois ou quatre semaines de la fonte printannière.

Règle générale, la répartition de la charge sédimentaire s'établit comme suit:

- hiver : 5%
- printemps : 60 à 70%
- été: 15%
- automne: 15% à 25%

Comme la majorité des observations dans le Saint-Laurent se réfèrent à des données d'été et d'automne, toute prédiction sur le bilan sédimentaire à

partir de ces données comporte donc une marge d'erreur élevée en sous-estimant les quantités printanières. Il faudrait donc dans le futur procéder aux bilans à partir de l'apport des tributaires combinés à des mesures pendant toute l'année dans le Saint-Laurent.

5.7 Caractérisation du Saint-Laurent par secteur

Vu la nature fine des particules, la majorité des sédiments en suspension arrivant dans le Saint-Laurent, soit des Grands Lacs ou des tributaires, transitent jusqu'à l'estuaire de mélange eaux salées-eaux douces pour se déposer temporairement ou en permanence et/ou se déplacer plus en aval selon un rythme complexe associé au transport littoral, aux vagues et plus particulièrement aux glaces en dérive, aux phénomènes de courant et de marée.

Région de Montréal

Selon le bilan, le lac Saint-François devrait normalement être soumis à une charge sédimentaire d'entrée relativement faible dans sa partie centrale et sur la rive nord; par contre, les sédiments provenant du réseau hydrographique américain, incluant les Mille-Iles, devraient normalement présenter une concentration plus élevée pour affecter la partie sud du lac. Les sédiments en provenance des Grands Lacs, à cause de leur finesse, devraient pouvoir transiter très facilement dans le lac Saint-François, alors que les sédiments provenant des tributaires de l'Ontario ou du réseau américain devraient normalement être de nature plus grossière, donc susceptibles de sédimenter plus facilement dans le lac. Selon toute vraisemblance cependant, moins de 20% des apports annuels se déposent dans le lac Saint-François mais les effets de crues et des vents peuvent concourir à une remise en suspension, bien que le lac Saint-François soit plus profond que les autres lacs situés en aval.

Le lac des Deux-Montagnes est en grande partie balayé par les eaux de la rivière des Outaouais. Cependant, certains petits tributaires comme la rivière du Nord peuvent très bien contaminer les fonds de ce dernier près des rives. Le bilan sédimentaire de ce lac n'est pas disponible.

Le lac Saint-Louis est soumis à plusieurs types d'eau donc de sédiments de nature très différente: Grands Lacs, tributaires amont du secteur international, des Outaouais et de deux rivières non négligeables sur le plan qualité des sédiments: Châteauguay et Saint-Louis. La dynamique sédimentaire est donc très complexe dans le secteur. Néanmoins, les études du projet Archipel ont démontré qu'en périodes de faibles crues, un certain pourcentage de sédiments peuvent se déposer soit entre 15% et 20% (moyenne 15%) dépendant des années, mais que pour des crues importantes comme en 1974, le bilan de sortie équilibrait le bilan d'entrée et que pour un débit supérieur il y avait érosion des fonds et remise en suspension. L'effet des vents comme tel n'a pas été observé, mais les premières évaluations théoriques que nous avons effectuées démontrent que tous les fonds de faibles profondeurs (moins 2,5 m) sont sujets à l'effet des vents sauf pour les secteurs abrités (voir planche 1). Donc à long terme, on ne peut s'attendre à des accumulations prononcées de sédiments dans les secteurs susceptibles d'être balayés par des forts courants de crues et affectés par les vagues.

C'est surtout au niveau du lac Saint-Pierre que l'on retrouve la plus grande dynamique sédimentaire dans le secteur fluvial du Saint-Laurent. Outre les apports provenant de l'amont $3\,300\,000\text{ t.a}^{-1}$, il faut ajouter les apports importants venant des rivières de la rive sud (Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet), soit au total 1,33 millions de tonnes et les apports plus restreints des rivières de la rive nord, $160\,000\text{ t.a}^{-1}$ pour un total de $4\,760\,000\text{ t.a}^{-1}$.

Malgré tous ces apports, le lac Saint-Pierre ne constitue pas le grand bassin de sédimentation comme plusieurs le prétendent, puisque la majorité des sédiments en ressortent. La faible bathymétrie, l'hydrodynamique et l'effet des glaces et des vents violents concourent au phénomène d'entraînement ou de remise en suspension de la charge sédimentaire fine dans le lac Saint-Pierre. Seuls alors les secteurs abrités comme dans les chenaux à l'intérieur des îles de Sorel peuvent former des zones de sédimentation permanentes (voir planche 1).

Dans les secteurs fluviaux, mises à part les zones abritées, comme près des îles, dans les ports et les marinas, les vitesses d'écoulement sont règle générale suffisantes pour maintenir en suspension la charge solide fine, surtout dans le secteur soumis à la marée.

5.8 Conclusion

Il va de soi que la modélisation mathématique des apports de l'ensemble des tributaires du Québec constitue un grand pas dans la connaissance du bilan sédimentologique du Saint-Laurent. Néanmoins, il y a lieu d'être prudent avant de tirer les conclusions définitives car:

- . Les bilans présentés ci-dessus ne peuvent être que provisoires, étant donné que la plupart des rivières sont jaugées loin des embouchures (ex.: le Richelieu, la rivière des Outaouais), alors que plusieurs autres n'ont jamais été jaugées sur une base continue (ex.: le Saint-Maurice).
- . Les bilans d'entrée provenant du lac Ontario et du secteur international sont très mal connus, malgré l'importance de ces données pour l'ensemble du fleuve

en regard des substances toxiques transportées par les sédiments.

- . Bien que les crues s'avèrent l'événement hydrologique dominant eu égard au régime sédimentologique du fleuve, il existe très peu de données couvrant cette plage d'information.
- . La nature même des sédiments en suspension apportés par les tributaires au fleuve est à toutes fins pratiques inconnue.
- . La qualité des sédiments en suspension pénétrant dans le fleuve est totalement inconnue au niveau des tributaires.
- . Il existe une méconnaissance totale de la dynamique sédimentaire dans le fleuve en fonction des couloirs de mélange et des saisons - notamment au niveau des lacs et des zones potentielles de sédimentation - de même que de l'effet des glaces et des vents.
- . Il existe très peu de données sur la dynamique des sédiments à leur arrivée dans l'estuaire.
- . Jusqu'ici, les relevés sur le Saint-Laurent ont consisté surtout à inventorier d'une façon statique et instantanée la nature de l'eau (incluant les suspensoïdes) et les fonds, alors que le véritable comportement dynamique des sédiments n'a jamais été étudié.

5.9 Recommandations

- Considérant l'absence complète de mesures simultanées sur l'ensemble du fleuve.
- Considérant que les données antérieures portent sur une seule station d'observations (à Montréal), d'ailleurs très mal localisée.
- Considérant l'importance de connaître le régime sédimentologique sur l'ensemble du fleuve.

Il est recommandé

- De mettre en place un réseau permanent de stations de relevés aux endroits suivants:
 - . Ile Wolfe (sortie lac Ontario);
 - . Cornwall (entrée lac Saint-François);
 - . Montréal (pont Champlain);
 - . Trois-Rivières (pont Laviolette);
 - . Québec (pont de Québec).
- D'opérer ces stations sur une base régulière, caractérisant chaque corridor d'écoulement.
- De mettre en place un réseau secondaire d'une durée de deux ans, pour calibrer les bilans quantités, qualité (eau - sédiments), des lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre. Les sites proposés sont:

- . Beauharnois, Des Cèdres, chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne;
 - . Sorel (ou Les Grèves);
 - . Gentilly (incluant le Saint-Maurice dans le bilan du lac Saint-Pierre).
-
- D'opérer ce réseau d'étalonnage sur une base hebdomadaire en périodes d'étiages et journalière en périodes de crues.
 - Sur le plan quantitatif, d'analyser la concentration et la taille des particules en suspension en fonction des saisons (débits, vitesses).
 - Sur le plan dynamique, d'analyser aussi la charge sédimentaire dans les couloirs de mélange en fonction des saisons.
 - D'établir les bilans sédimentaires et la stabilité des dépôts des lacs Saint-François, Saint-Louis, des Deux-Montagnes et Saint-Pierre en fonction des saisons (débits, vitesses, glaces, vents, vagues), compte tenu de l'apport de chaque tributaire.
 - Compte tenu de la méconnaissance du comportement sédimentologique dans l'estuaire de mélange du Saint-Laurent (entre l'île d'Orléans et Pointe-des-Monts), faire une reconnaissance spécifique et intensive de ce secteur particulier.

6.1 Généralités sur la morphologie du fleuve

La morphologie du fleuve est intimement liée à la présence du Bouclier canadien, des Appalaches et des terres-basses de la vallée du Saint-Laurent. La mer de Champlain a laissé des dépôts d'argile d'épaisseurs variables dépendant de la roche-mère. Dans le cadre de travaux antérieurs, Cremer et Frenette et al (1975) ont établi de façon très générale (document interne) l'épaisseur des dépôts en fonction de la position de la roche-mère. Ci-après la carte-synthèse est produite (planche no 6) qui sert de support à la caractérisation des fonds.

6.2 Généralités sur la nature des fonds

La caractérisation granulométrique des fonds dans les années 1973-1974 a permis de déterminer un premier canevas sur les fractions argile, silt, sable et gravier qui composent le lit du Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny. A notre connaissance, bien que très générale et sommaire, c'est la seule étude jusqu'à présent qui a intégré l'ensemble des caractéristiques physiques des fonds du fleuve. Des études récentes (Hydrotech inc. 1981 et Sloterdijk, Champoux et Langlois 1984-85) ont permis d'apporter plus de précisions au niveau des lacs Saint-François, Saint-Louis, des Deux-Montagnes et Saint-Pierre. La synthèse des études apparaît à la planche no 7. Le Saint-Laurent présente un lit très diversifié: roc, argile compacte, limon (mélange silt et argile), sable et gravier. Le socle rocheux et les argiles compactes de la mer de Champlain présentent un fond stable tandis que les graviers forment un pavage difficilement érodable qui protège ainsi les couches sous-jacentes. En conséquence, seuls les fonds sableux et limoneux (silt et argile) sont susceptibles d'être mis en mouvement par le jeu des courants et des vagues. La disponibilité en matériaux de fond au sein même du Saint-Laurent est ainsi

fortement réduite et contribue peu au mouvement par charriage (mouvement de fond). A cet égard, il faut donc faire appel aux apports des tributaires.

Toute proportion gardée, la présence de matériaux fins est plutôt limitée, mais concentrée dans certains secteurs, règle générale, à l'extérieur du chenal maritime. On peut en effet déceler deux grands tronçons où les sédiments hors chenal deviennent de plus en plus fins, de l'amont vers l'aval (Frenette et Larinier 1976). Il s'agit du tronçon Cornwall - Valleyfield (lac Saint-François), et de la sortie du lac Saint-Louis à Varennes (voir figure 6.1). Dans ces tronçons, on assisterait à une ségrégation naturelle des sédiments de fond causée par les courants plus faibles allant du chenal vers les rives. Aucune tendance similaire n'est détectée en aval du lac Saint-Pierre.

Le lit du chenal maritime, de Cornwall à l'île d'Orléans, se caractérise de façon générale par la présence de roc, de graviers, d'argiles consolidées et de sables. C'est surtout dans les secteurs sablonneux comme dans le lac Saint-Pierre, que les dragages d'entretien sont ainsi nécessaires (voir chapitre VII).

6.3 Caractérisation par secteur

Lac Saint-François

Le fleuve, relativement étroit et rapide à Cornwall, va en s'élargissant vers le lac Saint-François. Parallèlement à la diminution des vitesses, on observe une augmentation de la teneur en éléments fins (argiles et limon) sur les fonds. En amont donc, les fonds sont principalement composés de graviers et de sable pour passer graduellement aux limons et aux argiles en allant vers la sortie du lac.

Cette constatation permet de déduire que le lac Saint-François peut retenir une certaine quantité de sédiments fins. En effet, le fleuve, en amont du lac Saint-François possède une très grande capacité érosive. Les vitesses sont telles que les sables, voire même les graviers constitutifs du lit peuvent être transportés, pour se déposer ensuite dans le lac Saint-François, où les vitesses sont plus faibles (voir planche no 7). A la sortie du lac cependant les vitesses augmentent, ce qui élimine toute possibilité de sédimentation. //

Lac Saint-Louis

Dans le lac Saint-Louis, les fonds sont très variables. Dans le chenal principal d'écoulement, à la sortie du barrage de Beauharnois jusqu'aux rapides de Lachine, les fortes vitesses maintiennent des fonds assez grossiers (graviers, argiles consolidées, affleurements rocheux), tandis que sur les côtés, les fonds présentent une composition granulométrique nettement plus fine. Il est clair qu'une grande partie des sédiments fins en aval de l'île Perrot proviennent de la rivière des Outaouais bien que le secteur soit aussi balayé par les eaux provenant des Grands Lacs comme le montre la planche 3 sur la diffusion des eaux du Saint-Laurent. Sur la rive opposée, soit dans le secteur des îles de la Paix et en aval, les sédiments de fond proviennent des rivières Saint-Louis et Châteauguay. Ce sont les secteurs les plus propices à la sédimentation permanente ou transitoire.

Bassin de Laprairie

Bien que très large, le bassin de Laprairie est peu profond et présente des fonds très rocheux ou de graviers sur lesquels reposent une faible couche de sédiments fins retenus par la végétation. La faible profondeur du bassin combinée aux fortes vitesses d'écoulement au pied des rapides de Lachine contribuent à l'absence de sédimentation. Au contraire, le bassin artificiel

en retrait en rive droite, jouxtant la voie maritime retient les sédiments fins à cause des courants trop faibles.

Lachine/Varembes

Cette partie du fleuve possède des fonds en grande partie constitués de gravier ou de roc. Il est clair, d'après l'intensité des écoulements que le potentiel de déposition dans le secteur est faible, sauf dans les régions abritées comme dans le port de Montréal et à proximité des îles.

Varembes/Sorel

Entre Varembes et Lanoraie l'écoulement se divise en deux à cause des nombreuses îles, dont les îles Sainte-Thérèse, les îles de Verchères et Saint-Ours. Du côté sud, il y a le chenal maritime, dragué dans l'argile compacte; aucune érosion de lit ne s'y produit. Par contre, les berges des îles de Verchères sont fortement érodées en bordure du chenal, résultant de l'effet des vagues générées par les bateaux.. Par ailleurs, les vitesses dans la zone du chenal maritime sont supérieures à $0,6 \text{ m.s}^{-1}$, ce qui élimine toute possibilité de déposition de particules fines. Au voisinage des îles au contraire, les vitesses sont suffisamment faibles, particulièrement dans la région des îles de Contrecoeur, pour permettre la sédimentation.

Du côté nord, le lit est beaucoup plus sablonneux, en particulier dans le chenal secondaire de navigation (de plaisance), mais les vitesses sont suffisantes pour rendre les fonds mobiles à certaines périodes de l'année.

Entre Lanoraie et Sorel, le fleuve va en se rétrécissant, mais les profondeurs restent supérieures à 10 mètres. Les fonds sont constitués en majeure partie de sables et de graviers, et les matériaux apparaissent d'autant plus grossiers que les profondeurs sont élevées. Encore là, les vitesses mettent en évidence une possibilité de transport de fond dans le secteur. Des

ouvrages de protection empêchent l'érosion le long de la rive sud tandis qu'au nord la berge est relativement stable. Plus en aval, jusqu'aux îles de Sorel, la dynamique des fonds est évidente.

Iles de Sorel

Cette région constitue une vaste zone de déposition de sédiments fins (limon) sauf au sein même du chenal maritime où les vitesses sont élevées et supérieures à 1 m.s^{-1} . On est en présence ici d'une formation deltaïque lacustre à l'entrée même de l'estuaire d'eau douce. Les seuils submergés, placés en travers dans les bras secondaires du delta dans les années 60 en vue de maintenir les plans d'eau dans le port de Montréal, peuvent être une des causes, sinon la principale de la forte sédimentation dans ce secteur. En effet, depuis la construction de ces seuils, les chenaux secondaires sont devenus des zones potentielles de sédimentation jusqu'à ce qu'un nouveau régime d'équilibre sédimentologique soit établi. La disparition de ces digues aurait un effet contraire, en ce sens qu'on noterait alors un entraînement rapide des fonds et une remise en suspension de la plupart des sédiments fins déjà déposés. Ce faisant, nul doute que la qualité générale du fleuve en aval serait affectée.

A l'opposé, près de la rive sud, le chenal maritime s'approche de Sorel et les fortes vitesses associées au batillage des bateaux, provoquent des érosions particulièrement élevées aux îles de Grâces, Lapierre et des Barques. Les matériaux érodés provenant de l'amont ou des îles ne peuvent s'accumuler dans le chenal, à cause des trop grandes vitesses et sont transportés jusque dans le lac Saint-Pierre. Au voisinage de Sorel, les fonds du chenal maritime sont argileux et compacts (argile Champlain). Par contre, il existe un potentiel d'accumulation de sédiments tout près de la rive sud.

Lac Saint-Pierre

Le lac Saint-Pierre est caractérisé au centre par des sables mélangés à des sédiments fins (environ 10%) et par des dépôts plus fins en allant vers les rives. Ainsi, bien qu'il existe un potentiel évident de captage des matériaux de fond dans le lac Saint-Pierre, confirmé d'ailleurs par la présence de nombreux dragages, les vitesses d'écoulement sont, dans bien des cas, suffisantes pour maintenir en suspension la charge solide fine. Il est également évident qu'une fraction de sédiments fins se déposent dans le lac en périodes de faible hydraulicité et se meuvent par la suite sur les fonds ou sont remis en suspension lors des crues printanières ou en périodes de grands vents. Néanmoins, le delta de Sorel protège la tête du lac contre les forts courants et c'est dans ce secteur que l'on retrouve le potentiel de sédimentation le plus élevé. Avant la sortie du lac Saint-Pierre, en rive gauche, on remarque aussi l'île aux Sternes créée artificiellement avec des dépôts de dragage, qui dévie l'écoulement et génère ainsi une zone de sédimentation en aval.

A la sortie même du lac Saint-Pierre, les vitesses moyennes d'écoulement vont en augmentant, tandis que les matériaux de fond deviennent de plus en plus grossiers (sables-graviers). Les profondeurs naturelles sont supérieures à 18 m et les vitesses sont suffisantes pour éviter toute sédimentation fine.

Trois-Rivières - Portneuf

Dans la région de Trois-Rivières, les vitesses d'écoulement deviennent élevées et les fonds, dans le chenal, sont en majorité constitués de graviers, sauf par endroits où le chenal atteint la couche argileuse de la mer Champlain. Quelques battures (zones de sédimentation) apparaissent à partir de Gentilly, dans les zones de faibles vitesses. Le quai de Bécancour reliant la

rive sud au chenal maritime constitue une singularité importante pour le transport solide, car en effet, tous les matériaux de fond provenant de l'amont, au sud du chenal, sont déviés dans celui-ci pour poursuivre leur cheminement vers l'aval. Plus en aval, les vitesses deviennent relativement fortes, et bien qu'il n'existe que très peu d'échantillonnage dans cette région, on peut prévoir que les matériaux sont constitués de roc, ou d'un mélange de sables et de graviers, transportés facilement jusqu'à l'aval des rapides Richelieu.

Portneuf - Québec

Le renversement de courant se produit à partir des rapides Richelieu. L'écoulement devient alors fortement non permanent mais, de façon générale, la profondeur naturelle du Saint-Laurent augmente après Portneuf, sauf dans la région de Donnacona pour demeurer supérieure à 12 mètres; les matériaux de fond dans le chenal sont formés de sables et de graviers et même d'affleurements rocheux, tandis que les battures sont principalement constituée d'argile consolidée. Le quai de Portneuf joue un rôle similaire au quai de Bécancour sur le régime des eaux et des sédiments, mais cette fois sur la rive nord. En somme, les deux quais font converger les mouvements de fond vers le chenal maritime. Néanmoins, la phase particulière dans l'eau peut revenir vers les rives, ce qui explique les zones de sédimentation fine que l'on observe à Gentilly et en amont et en aval du quai de Portneuf.

Québec-Montmagny

Cette région du haut estuaire est le siège de mécanismes sédimentologiques complexes. En effet, c'est dans cette zone que s'effectue le mélange des eaux douces du Saint-Laurent avec les eaux salées du golfe. Les matériaux de fond prélevés dans ce secteur sont constitués en majeure partie de sables et de graviers.

Par ailleurs, les vitesses moyennes observées à marées montante ou baissante atteignent des valeurs telles qu'il peut se produire un charriage de fond important, voire la formation de dunes, observée par Transports Canada. La zone critique de déposition se situe à la pointe est de l'île d'Orléans (Traverse Spit). Les sédiments originaires du bras nord de l'île d'Orléans, outre les sables provenant de l'amont se déposent ainsi dans le chenal maritime.

Enfin, à l'entrée du bras nord de l'île d'Orléans, il fut observé que des particules de fond, silteuses, étaient remises en suspension lors de l'augmentation des vitesses due à la marée. Il n'en demeure pas moins que du point de vue hydrodynamique, le bras nord de l'île d'Orléans présente un secteur propice à la sédimentation de particules fines.

6.4 Zone d'érosion, de transport et de déposition

A partir de la caractérisation des fonds et de l'hydrodynamique, il a été possible d'établir une carte maîtresse des zones susceptibles à l'érosion, au transport et à la déposition des sédiments (déposition saisonnière ou annuelle) sur tout le parcours du Saint-Laurent depuis Cornwall jusqu'à Montmagny (Planche 8). Ces informations résument en quelque sorte les différentes composantes dynamiques du régime sédimentologique présentes dans ce chapitre.

6.5 Conclusion

La caractérisation générale des fonds du Saint-Laurent, de Cornwall à Montmagny, a été établie pour la première fois en 1974, par Frenette, Sasseville et Sérodes pour être reprise sur une base sectorielle dans les années subséquentes (ex.: lac Saint-François, lac Saint-Louis). La planche no 7 tend à mettre à jour l'ensemble des informations disponibles. Cette caractérisation repose cependant sur des sections très distantes l'une de l'autre, soit à tous les 15 ou 20 km environ. Elle est aussi statique en ce

sens qu'elle ne fournit qu'un cliché de surface et ne tient pas compte des mouvements susceptibles de se produire au printemps, ou associés aux courants, aux glaces et aux vents ni de l'origine des matériaux de fonds (alluvial ou non). Donc les prochaines campagnes de relevés devraient fournir des résultats distincts constitués par d'autres sédiments, bien que dans l'ensemble, comme la nature des fonds s'ajuste aux conditions hydrodynamiques, la taille des particules devrait sensiblement être la même dans chaque zone.

6.6 Recommandations

Il est recommandé:

- de procéder à une caractérisation dynamique et intégrée des fonds du Saint-Laurent, et pour ce faire:
 - . d'actualiser et de valider l'information disponible sur le plan dynamique des fonds;
 - . de procéder à des études de contraintes critiques d'entraînement des fonds par les courants et les effets éoliens couplés à un modèle mathématique;
 - . de reconnaître par une série de prélèvements granulométriques les secteurs non répertoriés ou sensibles au mouvement;

- . de caractériser les secteurs en termes de dépôts de sédiments fins ou grossiers et d'établir leur stabilité et leur permanence;
- . de reconnaître l'origine des matériaux du lit (alluvial ou non) pour pouvoir faire une interprétation intégrée de la dynamique du fleuve;
- . d'évaluer les secteurs dynamiques, sujets à l'accumulation saisonnière de sédiments fins;
- . de prélever périodiquement des carottes de sédiments aux sites identifiés comme zones de déposition naturelle ou potentielle (pour plus de détails, voir le chapitre VIII).

VII ACTIVITES DE DRAGAGES

7.1 Historique et état de connaissance

La navigation commerciale et de plaisance a nécessité et exige encore de nos jours de nombreux travaux de dragage. Ceux-ci peuvent être classifiés selon deux catégories:

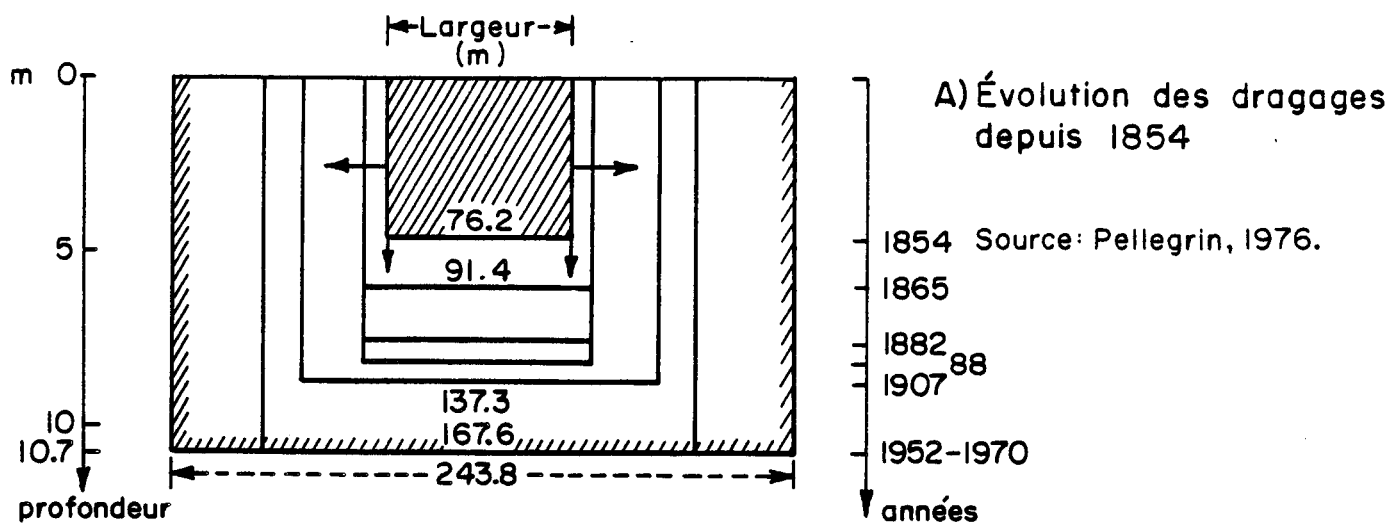
- les dragages d'immobilisation;
- les dragages d'entretien.

7.1.1 Dragage du chenal maritime

Les toutes premières interventions dans le fleuve remontent à plus de 200 ans (1779-1783) avec la construction du chenal de Côteau du Lac en aval du lac Saint-François (premier canal creusé sur le continent nord américain), suivie de la construction du canal Lachine (1825) et de la première canalisation dans le lac Saint-Pierre (1884), chenal droit d'une profondeur de quatre mètres (14 pi.) puis abandonné - probablement à cause des problèmes d'ensablement - pour être remplacé en 1847 par un chenal courbe suivant le contour naturel du thalweg.

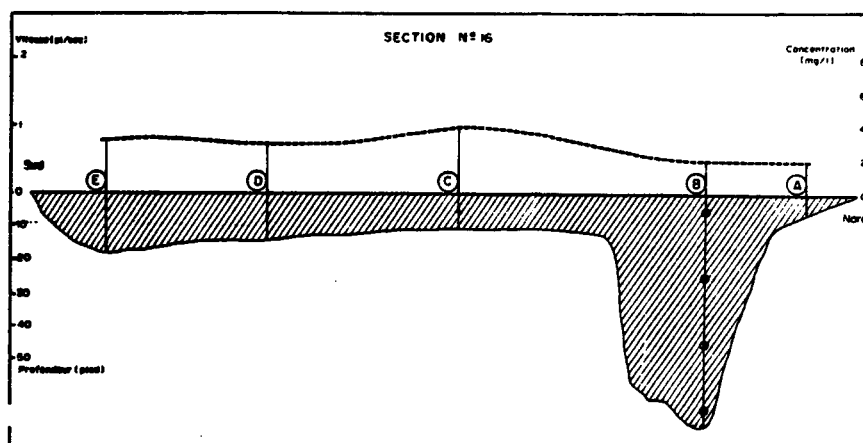
Depuis 1854, selon Pellegrin (1976), le gouvernement fédéral est intervenu sept fois pour agrandir le chenal maritime. Comme le montre la figure 7.1, le gabarit du chenal maritime entre Montréal et Québec est passé d'une profondeur de 4,9 m et d'une largeur de 76,2 m en 1854 à une profondeur de 10,7 m et une largeur de 243,8 m en 1970. La section du chenal maritime a donc été multipliée par sept en un peu plus d'un siècle. En aval de Québec, la profondeur a été portée de 9,1 à 12,5 m en 1974.

Tout semble indiquer que le chenal actuel a atteint un palier dans son développement, car le dragage de 1 mètre supplémentaire représenterait figure 7.1



B) Lac Saint-François

Source: Centreau 1972



C) Lac Saint-Pierre

Source: Centreau, 1973.

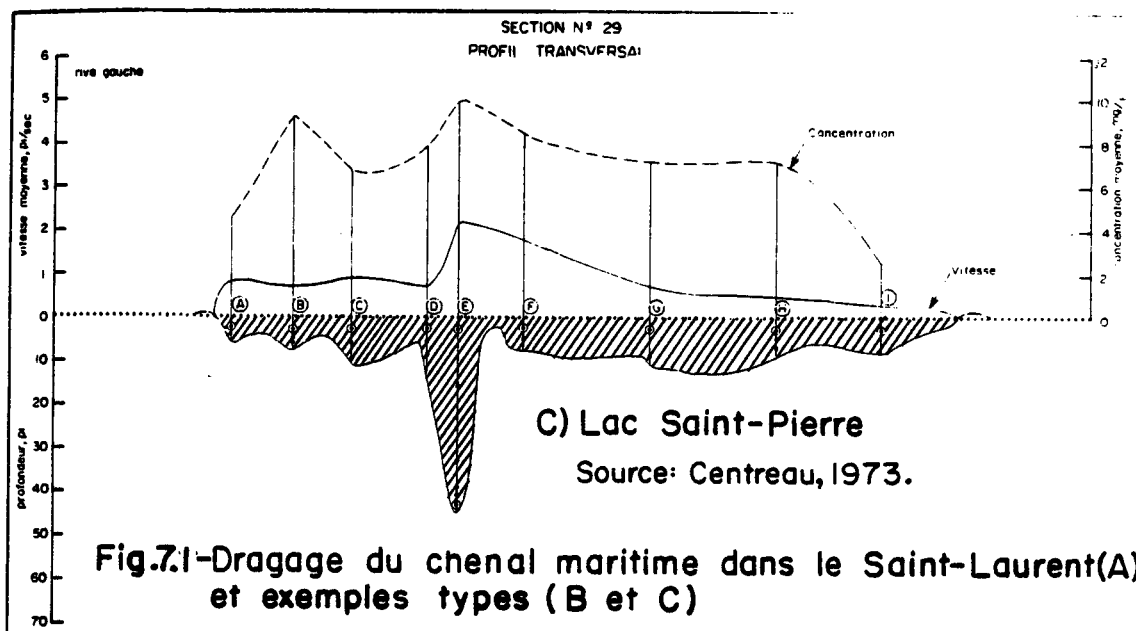


Fig.7.1-Dragage du chenal maritime dans le Saint-Laurent(A) et exemples types (B et C)

plusieurs dizaines de millions de m³, donc des millions de dollars en dragage et modifierait de façon irrévocable le patron d'écoulement, ce qui serait très néfaste pour l'environnement du Saint-Laurent en aval de Cornwall.

Les dragages d'immobilisation sont principalement orientés actuellement vers la construction ou l'agrandissement des ports commerciaux ou de plaisance. Les interventions sont de plus faible envergure, ponctuelles et plus sporadiques, donc sans effet majeur pour l'écoulement des eaux du Saint-Laurent.

7.1.2 Activités d'entretien

Les activités reliées à l'entretien sont quant à elles fréquentes et se présentent sous diverses formes: l'entretien du chenal maritime, de ports, des embouchures de rivières et des prises d'eau et des marinas.

D'une façon globale, la répartition des volumes annuels de sédiments dragués au Québec, entre le lac Saint-François et les Îles-de-la-Madeleine, sous juridiction fédérale et provinciale, sont respectivement de 1 100 000 m³ (85%) et de 190 000 m³ (15%) pour un total de 1 300 000 m³. De ce volume, environ 340 000 m³ sont dragués en amont de Montmagny. La répartition moyenne annuelle par secteur se résume comme suit (René Rochon, Environnement Canada, communication personnelle):

- Cornwall-Montmagny

. lac Saint-François	très faible
. lac Saint-Louis	nil
. lac des Deux-Montagnes	≈ 50 000 m ³
. pont Victoria/Îles de Sorel	≈ 16 500 m ³
. lac Saint-Pierre	≈ 98 500 m ³
. Trois-Rivières-Cap Rouge	≈ 97 000 m ³
. Cap Rouge - Montmagny	≈ <u>78 000 m³</u>

	340 000 m ³
- Montmagny-Gaspé	470 000 m ³
- Baie des Chaleurs et Iles-de-la-Madeleine	530 000 m ³
	<u>1 300 000 m³</u>

Les plus fréquents sites de dragages sont localisés sur la figure 7.2. Dans le fleuve proprement dit, les plus forts volumes sont situés dans le lac Saint-Pierre et en aval, plus précisément dans les régions de Gentilly, Batiscan, Sainte-Anne-de-la-Pérade et Donnacona, donc en aval des quais de Bécancour et de Portneuf qui ont pour effet d'entraîner les apports des tributaires.

Le gouvernement fédéral conduit environ 60 projets annuellement, tandis que le gouvernement provincial en contrôle en moyenne 6 ou 7 par année.

7.1.3 Nature et qualité des sédiments

Selon les renseignements en main, les sédiments dragués dans le chenal maritime sont de nature assez grossière (graviers, sables), bien que des particules fines puissent s'intercaler dans les pores. Même au niveau du lac Saint-Pierre, les analyses récentes (1988) ont démontré que dans 80% des cas, les échantillons montrent une présence de sables assez élevée (entre 70 à 90%). Donc, règle générale, les sables dominant dans le chenal maritime.

Le nettoyage des ports présente une plus grande problématique car, règle générale, on y retrouve plus de sédiments vaseux (plus de 50% de limon) et de débris de toutes sortes.

Selon R. Rochon (communication personnelle), les problèmes de contamination de sédiments dans les zones de dragage sont surtout observés en

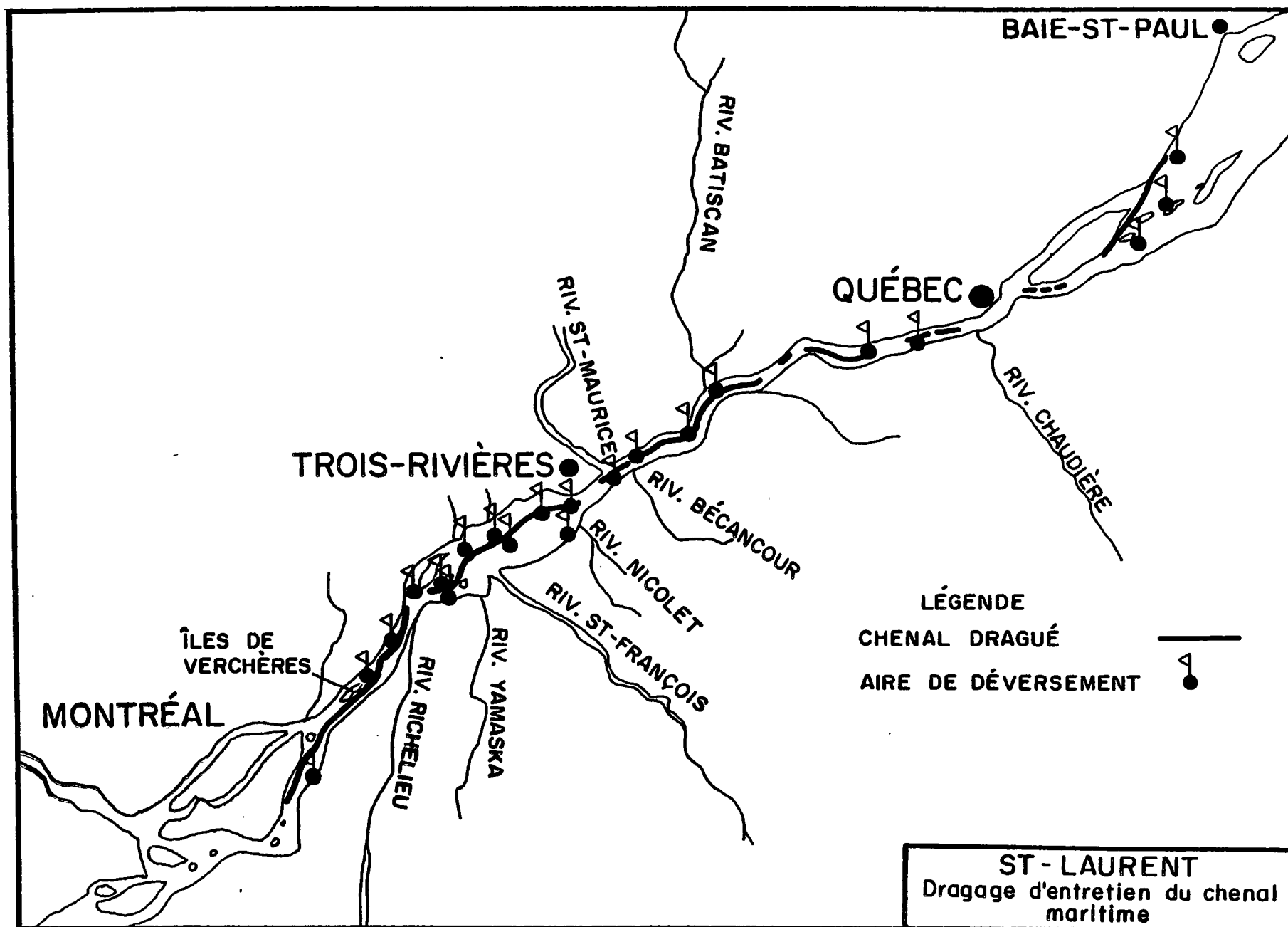


FIGURE 7.2

Source: Garde Côtière Canadienne, 1988.

amont de Québec, mais les volumes sont petits. Les évaluations sont faites sur les matériaux dragués au site même et sur la nature des fonds dans les zones de rejet.

Les promoteurs sont tenus eux-mêmes de faire les analyses physiques et physico-chimiques des sites de dragage, mais ne sont pas obligés de présenter les résultats. Dans la plupart des cas cependant, les résultats d'analyse sont présentés.

Enfin, la plupart des rejets se font en eau libre, sauf pour des cas spéciaux (sédiments contaminés) où le confinement est suggéré.

VIII QUALITE DES SEDIMENTS

8.1 Historique des relevés

8.1.1 Travaux de synthèse

Dans cette section, nous présentons l'inventaire des plus importants travaux réalisés depuis le début des années 70, dans le but de caractériser la qualité de l'eau brute et des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent, depuis sa source jusqu'à l'estuaire.

A) Centreau - 1971

Le Centre de Recherches sur l'Eau (Université Laval) a procédé en 1971 à une campagne d'échantillonnage des eaux du fleuve Saint-Laurent de Montréal jusqu'à l'île d'Orléans sur 31 sections. La plupart des paramètres physico-chimiques furent mesurés incluant les détergents, certains pesticides organochlorés, les fertilisants, les micro-organismes et les métaux.

B) Entente Québec Canada

Le protocole d'entente Québec Canada sur le fleuve Saint-Laurent a permis d'entreprendre, suite aux études de CENTREAU (1971), un véritable programme de relevés sur le fleuve, débutés en 1972 et divisés en trois grands tronçons:

- Cornwall - Varennes
- Varennes - Montmagny
- Montmagny - Trois-Pistoles

Les premiers résultats des relevés ont paru dans les rapports de CENTREAU - Université Laval (1972-1973-1974) - intitulés: "Aspects physiques et sédimentologiques du fleuve Saint-Laurent", pour chacun des tronçons.

Entretemps, les premiers relevés de la qualité générale des eaux furent réalisés par:

- le Service de Protection de l'Environnement du Québec (mesures ponctuelles) (S.P.E.Q.)
- le groupe KORAB (mesures en continu)
- l'INRS-Eau (effets urbains).

La synthèse générale de ces travaux a donné lieu à deux rapports d'étude en 1974 par le comité d'entente Québec-Canada et l'organisation d'un colloque sur le Saint-Laurent. Une synthèse touchant alors les aspects physiques, chimiques et biologiques des sédiments du fleuve Saint-Laurent a été préparée par Frenette, Sasseville et Sérodes (1974), laquelle a constitué la toile de fond de la plupart des travaux qui ont suivi sur les sédiments du Saint-Laurent. Les principaux paramètres passés en revue consistaient en la détermination des caractéristiques physiques, minéralogiques, chimiques, substances organiques et inorganiques, ainsi que la radioactivité.

Eu égard à la qualité des eaux, le Comité d'étude du fleuve Saint-Laurent C.E.F.S.L.(1974), a dans son rapport caractérisé les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau brute du premier tronçon comprenant les paramètres suivants: physiques, fertilisants, oxygène dissous et bactéries. Les analyses des sédiments de fond prélevés à une quarantaine de stations comprenaient la détermination des éléments majeurs, des métaux traces ainsi que des phénols et des détergents.

L'analyse de l'eau pour le deuxième tronçon (Varennnes-Montmagny) a porté sur une trentaine de paramètres physico-chimiques soit sur environ 5 400 échantillons pris dans le fleuve et à l'embouchure de 25 tributaires. Une analyse plus poussée a été effectuée pour les sédiments de fond en déterminant entre autres les pesticides, la minéralogie des argiles (Ledoux, CENTREAU 1973), et les principaux paramètres physico-chimiques des sédiments de fond (300 échantillons).

En 1977, le C.E.F.S.L. publiait l'ouvrage "Qualité générale de l'eau à proximité des rives", visant à évaluer la qualité générale de l'eau, de Cornwall à Montmagny, principalement à proximité des berges du fleuve Saint-Laurent. Environ 20 000 échantillons d'eau prélevés à une centaine de stations ont été analysés pour déterminer les principaux paramètres physico-chimiques. Le document "Caractérisation des apports" (C.E.F.S.L. 1977) se veut une synthèse de l'ensemble des études suivantes réalisées en 1975 et 1976:

- caractérisation des apports (phase 1);
- évaluation des bilans (1976);
- étude des tributaires;
- incidence des effluents urbains et municipaux.

Ces ouvrages traitent exclusivement de la qualité de l'eau brute pour différents tronçons du fleuve et ses principaux tributaires, en évaluant certains paramètres physico-chimiques.

En 1978, dans "Qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny" (C.E.F.S.L.), un regroupement de toutes les données acquises depuis 1972 jusqu'à 1978 sur les sédiments de fond a été effectué. Au total, 930 points d'échantillonnage ont été considérés, ainsi que 23 carottages pour l'évaluation de 49 paramètres, incluant la distribution granulométrique et la datation des dépôts (carottes).

C) Environnement Canada

Béland et Demers Inc. ont présenté en 1981 un résumé intitulé "Les substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent", pour le comité d'Environnement Canada et font mention, à partir des nombreux rapports produits par le C.E.F.S.L., des régions identifiées comme étant contaminées par les substances toxiques.

En 1984, dans "Inventaire des connaissances sur les sources de pollution dans le fleuve Saint-Laurent" une autre analyse globale a été faite à partir des données obtenues lors de relevés effectués en 1976 et 1977 dans le cadre des travaux du C.E.F.S.L. portant sur les rejets industriels, urbains et agricoles.

De 1977 à 1981, la Direction Générale des Eaux Intérieures (Environnement Canada) a procédé à des campagnes de relevés qualitatifs pour les eaux du fleuve incluant le lac Des Deux-Montagnes, les rivières Des Mille-Iles et Des Prairies. Environ 800 échantillons d'eau brute ont été prélevés de Cornwall à Québec pour les métaux lourds, éléments nutritifs, BPC et composés organochlorés. Les résultats ont paru en 1984 dans "Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Québec (1977-1981)". Un rapport de contenu semblable a été présenté en 1987, mais pour le secteur amont du fleuve (Wolfe Island) où des échantillons quotidiens et hebdomadaires ont été prélevés à une station fixe. Les données ont été présentées dans "Water Quality at the Inlet to the St. Lawrence River, 1977 to 1983".

Enfin, les résultats de plusieurs campagnes sont montrés dans le document d'Environnement Canada, Direction générale des eaux, relevés et mesures, intitulé: "Présence de BPC dans les eaux du fleuve Saint-Laurent (1981-1987)". Plusieurs échantillons (300) de un litre d'eau ont été prélevés à cinquante-quatre (54) sites différents entre Montréal et l'île d'Orléans,

ainsi que vingt-trois (23) échantillons obtenus par centrifugation à alimentation continue en treize (13) sites différents.

D) Environnement Québec

Le réseau de surveillance des substances toxiques du gouvernement du Québec publiait en 1985: "1981:- Contamination du milieu aquatique du Québec méridional" dans lequel sont relevés les résultats d'analyse de sept (7) métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) dans cinq (5) composantes environnementales dont l'eau et les sédiments de fond du Saint-Laurent. Au total, soixante-et-dix (70) stations incluant vingt-neuf (29) bassins versants, pour la plupart tributaires du fleuve, ont été observées.

8.1.2 Travaux sectoriels

Cette section présente une revue sectorielle des travaux effectués par différents organismes, firmes ou instances gouvernementales, dans le cadre de projets spécifiques dans des zones définies du fleuve Saint-Laurent.

A) SECTEUR INTERNATIONAL (ENVIRONNEMENT CANADA)

Une campagne a été effectuée en 1975 avec l'échantillonnage des sédiments de fond en cinquante-neuf (59) sites entre Kingston et Cornwall, en vue de doser dix-neuf (19) composés organiques, ainsi que les métaux à l'état de traces. Les résultats ont été publiés en 1988 seulement dans "Contaminants dans les sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent en juin 1975". Une autre campagne a eu lieu en 1981 dans ce même secteur international sur sept (7) sites dans le but de détecter les composés organochlorés, BPC, chlorobenzènes, matière organique, mirex, ainsi que d'évaluer la distribution granulométrique.

B) Secteur Cornwall (Environnement Ontario)

Le ministère de l'Environnement de l'Ontario a procédé à des campagnes de mesures en 1979, 1980 et 1982 dans le secteur de Cornwall (Ontario) et Massena (New York). En 1979, soixante-trois (63) échantillons de sédiments de fond (premier 3 cm) et d'eau brute ont été analysés pour les métaux, pesticides, BPC, phénols et nutriments. Les campagnes de 1980 et 1982 ont porté sur une analyse plus détaillée de la qualité de l'eau brute de différents tributaires de l'état de New York et de quelques émissaires d'eaux usées de Cornwall.

C) Lac Saint-François (Environnement Canada)

Une centaine d'échantillons de sédiments de surface ont été prélevés par Environnement Canada en 1979 et 1981 sur l'ensemble du lac. Les principaux paramètres analysés furent la granulométrie, le mercure et les BPC totaux, ainsi que quelques analyses pour les HAP, chlorobenzènes et BPB. Les résultats ont fait l'objet de deux rapports en 1985 et 1988.

D) Rivière des Outaouais

i) ENTENTES CONJOINTES: CANADA - ONTARIO - QUEBEC

Mentionnons les campagnes de 1968, 1969 et 1970 effectuées par la Commission des Ressources en Eau de l'Ontario et la Régie des Eaux du Québec. Les ministères de l'Environnement du Canada, de l'Ontario et du Québec ont procédé aux analyses, en 1981, des données obtenues de 1971 à 1980. En 1986, le comité de Coordination (Envir. Canada, Québec, Ontario) de la qualité des eaux de la rivière des Outaouais publie un rapport intitulé: "La qualité de l'eau de la rivière des Outaouais". Au-delà de soixante-et-dix (70) paramètres

physico-chimiques et composés organiques ont été dosés dans les composantes eau, poissons et sédiments de fond.

ii) Etudes particulières (Outaouais)

Les premières études sur les métaux lourds dans les sédiments de fond entre Ottawa et Carillon, ont été réalisées par Environnement Canada en 1974.

L'Université d'Ottawa et le Conseil National de la Recherche du Canada (CNRC) ont étudié par ailleurs en 1977 la distribution et le déplacement du mercure dans la rivière des Outaouais.

En 1985, une campagne d'échantillonnage a été effectuée par Environnement Canada sur une vingtaine de stations pour les sédiments et les poissons de la rivière des Outaouais. Les paramètres suivants ont été mesurés: BPC, pesticides, HAP, mercure, plomb et radium. Les résultats ont fait l'objet de deux rapports distincts en 1987.

Par ailleurs, en 1986, dans "Pesticide Distribution, Lower Ottawa River" (Environnement Canada), on a dosé les chlorophénols et les pesticides organochlorés dans l'eau et les sédiments de fond du tronçon inférieur de la rivière des Outaouais.

En 1987, un relevé de trente-cinq (35) échantillons sur onze (11) sections du lac Témiscamingue jusqu'à Carillon a été effectué également par Environnement Canada, pour doser la plupart des métaux et des composés organiques à l'état DE traces pour les sédiments de fond de la rivière.

E) Région de Montréal

Dans le cadre du projet Archipel, entre 1981 et 1985, plusieurs prélèvements de fond ont été réalisés dans le but d'évaluer la qualité des sédiments dans la région de Montréal.

Parmi les ouvrages, mentionnons les rapports Hydrotech réalisés pour le compte de Hydro-Québec, intitulés: "Relevés hydrosédimentologiques du projet Archipel (1982)" et "Nature et dynamique des substrats de fond, Archipel de Montréal, Rapport Général (1983)", "Relevés hydrosédimentologiques complémentaires du lac des Deux-Montagnes et de la rivière Des Mille-Iles", par Sogeam (1984); et les "Etudes sur la contamination toxique des sédiments aux éxutoires du lac des Deux-Montagnes" par Lalonde, Girouard, Letendre et ass. (1985).

Par ailleurs, une étude conjointe avec Environnement Canada, l'Université de Montréal et la National Water Research Institute (Burlington) a porté sur la qualité des sédiments du lac Saint-Louis. La campagne d'échantillonnage a eu lieu en 1984 et 1985 à une soixantaine de points pour évaluer dix (10) éléments majeurs, certains métaux toxiques et composés organiques. Les résultats ont été traités dans deux rapports publiés en 1985 et 1987.

F) Lac Saint-Pierre

Le lac Saint-Pierre a aussi fait l'objet de relevés effectués en 1986 pour l'analyse de l'eau, des sédiments en suspension, des sédiments de fond et des poissons. Les analyses ont porté sur les métaux, BPC, pesticides, phénols et chlorobenzènes et ont fait l'objet de trois rapports publiés en 1986, 1987 et 1988 par Environnement Canada.

8.1.3 Discussion

Suite à la revue des principaux ouvrages effectués sur les sédiments du fleuve Saint-Laurent, la figure 8.1 fait état des principaux paramètres mesurés dans les rapports mentionnés auparavant.

Le contenu détaillé de chaque document ne pouvait être élaboré dans ce chapitre, mais il est impératif de souligner les grands laps de temps qui existent entre la prise des échantillons, les analyses effectuées et la publication des résultats. La diffusion de l'information se fait selon un processus trop lent dans la plupart des cas.

Les techniques analytiques ont évolué depuis 1971 et par conséquent, toute interprétation, en 1988, de résultats obtenus antérieurement doit être méticuleusement analysée en tenant compte de ce facteur. En ce qui concerne les sédiments de fond, il faut mentionner que la majorité des échantillons ne représentent que les trois premiers centimètres de la surface du lit, alors ceci donne une image très superficielle et statique des sédiments, sans apporter de lumière sur le comportement dynamique des fonds.

Ajoutons que les connaissances sur les interactions entre l'eau (phase dissoute) et les sédiments (phase particulaire) sont extrêmement limitées et qu'il est déplorable de retrouver si peu de données sur la qualité des suspensoïdes et ce, du lac Ontario jusqu'à l'estuaire maritime.

Intervenants		Centreau (1971) Université Laval	Centreau (1972) Université Laval	Centreau (1973) Université Laval	Centreau (1975) Université Laval	Com. Etude sur la S.L. (1978)	Com. Etude sur la S.L. (1977)	Com. Etude sur la S.L. (1978)	MENVIC (1985)	MENVIC (1987)	Env. Canada (1985)(1988)	Env. Canada (1987)	Env. Canada (1988)	MENVIC (1988)	ENV. QUÉ. ONT. CAN (1988)
Paramètres mesurés		Fau	Séd. fond	Suspensoides	Radioactivité	Solides en suspension	Température	pH	Couleur	Turbidité	Solides totaux	Granulométrie	Minéralogie	Vitesse	
Physiques	Radioactivité														
	Solides en suspension														
	Température														
	pH														
	Couleur														
	Turbidité														
	Solides totaux														
	Granulométrie														
	Minéralogie														
	Vitesse														
Minéraux	Conductivité														
	Alcalinité														
	Dureté														
	Chlorure														
	Sulphates														
Fertilisants	N														
	NH ₃														
	NO ₂ , NO ₃														
	N organique														
	Phénols														
	Phosphore														
Oxygène	% Saturation														
	D.B.O.														
	D.C.O.														
	D.S.O.														
Micro-organismes	Coliformes Fécaux														
	Streptocoques Fécaux														
	Levures														
	Moississures														
Métaux	As														
	Ba														
	Cd														
	Co														
	Cr														
	Cu														
	Cl														
	Fe														
	Pb														
	Mn														
	N														
	Pb														
	Se														
	Sr														
	V														
	Zn														
Pesticides organochlores	Matières humiques														
	Carbone organique														
	Détergents														
	BPC														
	Heptachlore														
	DDT														
	DDE														
	Mirex														
	BPC														
	Aroclor														
	Chlorobenzènes														
	HAP														

**Fig.8.1 : PARAMETRES DE QUALITÉ (eaux-sédiments) MESURÉS
DANS LE SAINT-LAURENT EN (1971 - 1988)
(année de diffusion de l'information)**

8.2 Etat de connaissance

Comportement physico-chimique des sédiments dans le fleuve Saint-Laurent

8.2.1 Généralités

La plupart des substances toxiques montrent une grande affinité pour les particules solides naturelles que l'on retrouve dans l'air, sur le sol ou dans l'eau. Les métaux lourds et leurs composés, ainsi que les composés organiques halogénés ou polycycliques sont facilement adsorbés et fortement retenus sur les particules solides.

Dans le milieu aqueux, la distribution d'un contaminant dans les phases particulaire et dissoute est exprimée par le coefficient de partage ou de distribution $K_d = [C_{\text{solide}}]/[C_{\text{eau}}]$. Le coefficient évalué en laboratoire ou mesuré dans les eaux naturelles est ordinairement très élevé (10^3 à 10^6). Ceci signifie qu'à volumes égaux de solides et d'eau, la quasi-totalité des contaminants se trouve dans la phase solide. Cependant, lorsque la concentration des solides dans l'eau est faible (cas du Saint-Laurent), la masse d'eau est beaucoup plus grande que celle des sédiments (facteur 10^5) et ainsi, en terme de bilan total, l'inverse peut se produire; on retrouve alors la plus grande partie des contaminants dans la phase dissoute.

Les figures 8.2 et 8.3 résument le comportement des contaminants dans le mélange eau-solides. Dans la figure 8.2, on observe que la distribution des contaminants à coefficient de partage élevé ($-pK_d = -\log^{10} K_d$), tels les composés organochlorés, favorise la phase particulaire même lorsque la teneur en matières en suspension est faible. Dans le cas de contaminants hydrophiles (à coefficient de partage faible ($-pK_d = 3$), tels les phénols, le pourcentage dans la phase particulaire demeure faible en dépit de teneurs en suspension

élevées. La figure 8.3 décrit, non seulement la situation dans les masses d'eaux en mouvement, mais aussi celle qui prévaut lorsque des sédiments de fond sont remis en suspension ou que des sédiments sont injectés dans le milieu aqueux lors de dragages ou d'érosion terrestre. Dans la figure 8.3, les teneurs élevées en solides dans un mélange eau-solides peuvent être associées aux situations qui existent dans les sédiments de fond ou dans leur voisinage. La distribution des contaminants vers les solides est tellement favorisée qu'il est possible d'avancer que les contaminants enfouis sous des sédiments de fond ne peuvent être libérés dans l'eau si aucune transformation chimique du support adsorbant ou du contaminant lui-même ne modifie grandement son coefficient de partage. Au voisinage des sédiments de fond, les eaux s'enrichiront en contaminants, si ces derniers sont en concentration plus grande sur les fonds que dans les matières en suspension. L'enrichissement sera inversement proportionnel au coefficient de partage des contaminants.

Les particules solides qui sont entraînées dans un cours d'eau peuvent être très contaminées et supporter un certain nombre de contaminants si elles proviennent de terres agricoles traitées aux pesticides, de sols soumis à des retombées atmosphériques polluantes, de rejets solides industriels ou urbains. En tant que matières en suspension dans le cours d'eau, elles sont soumises aux divers équilibres physiques et chimiques. Du point de vue physique, elles sont susceptibles de se déposer lorsque les conditions hydrodynamiques sont favorables; elles rejoignent alors les fonds sous forme de dépôts vaseux, souvent contaminés. Du point de vue chimique, les particules sont encore susceptibles d'adsorber des contaminants de la phase dissoute ou de céder à cette phase une certaine quantité de contaminants. L'enrichissement ou l'appauvrissement des particules en suspension ou sédimentées dépendent du contaminant, de son coefficient de distribution et de la concentration des matières en suspension.

Distribution relative des contaminants dans la phase particulaire
selon les coefficients de partage

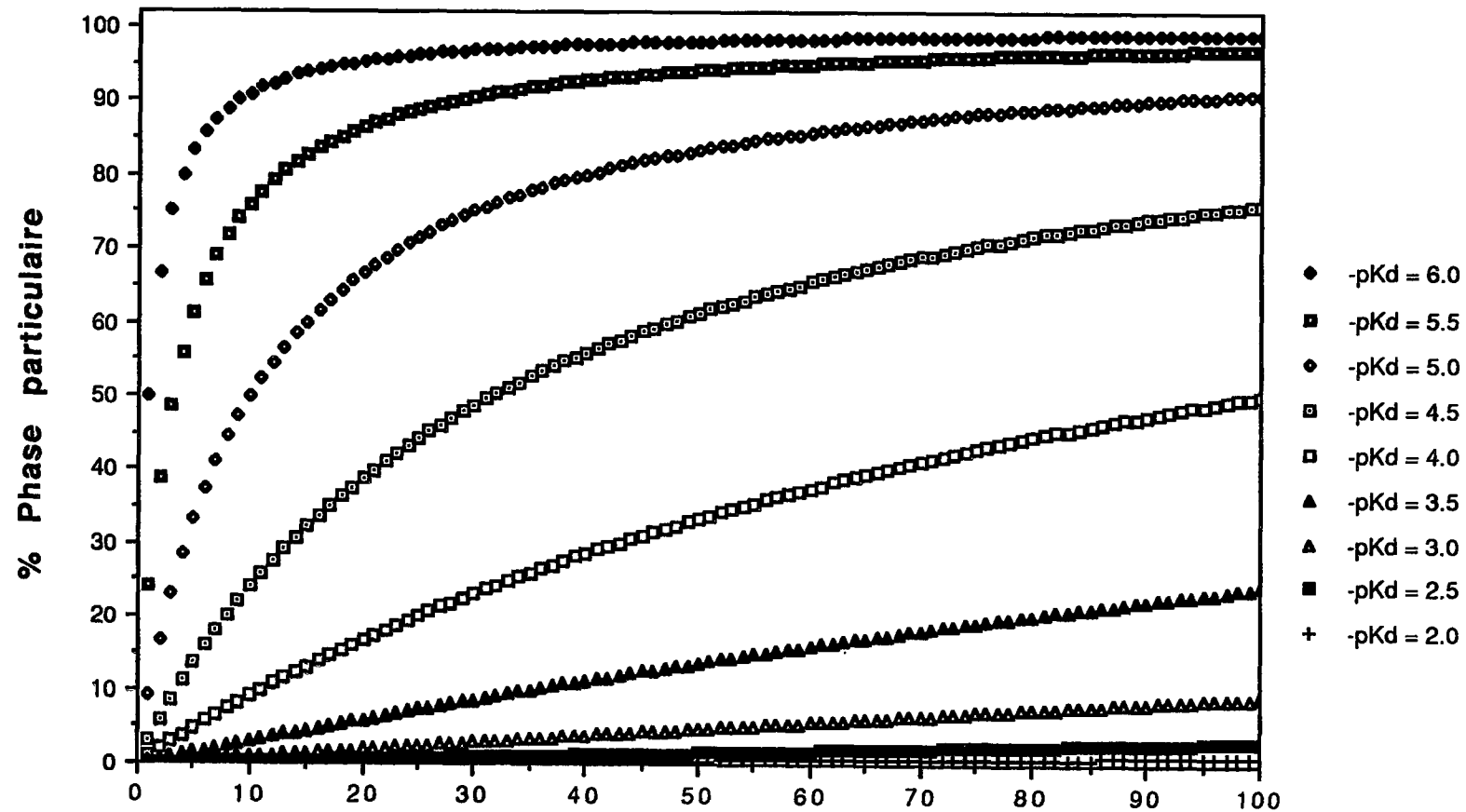


Fig. 8.2-Matières en suspension (mg.L-1)

Distribution relative des contaminants dans la phase particulaire
selon les coefficients de partage

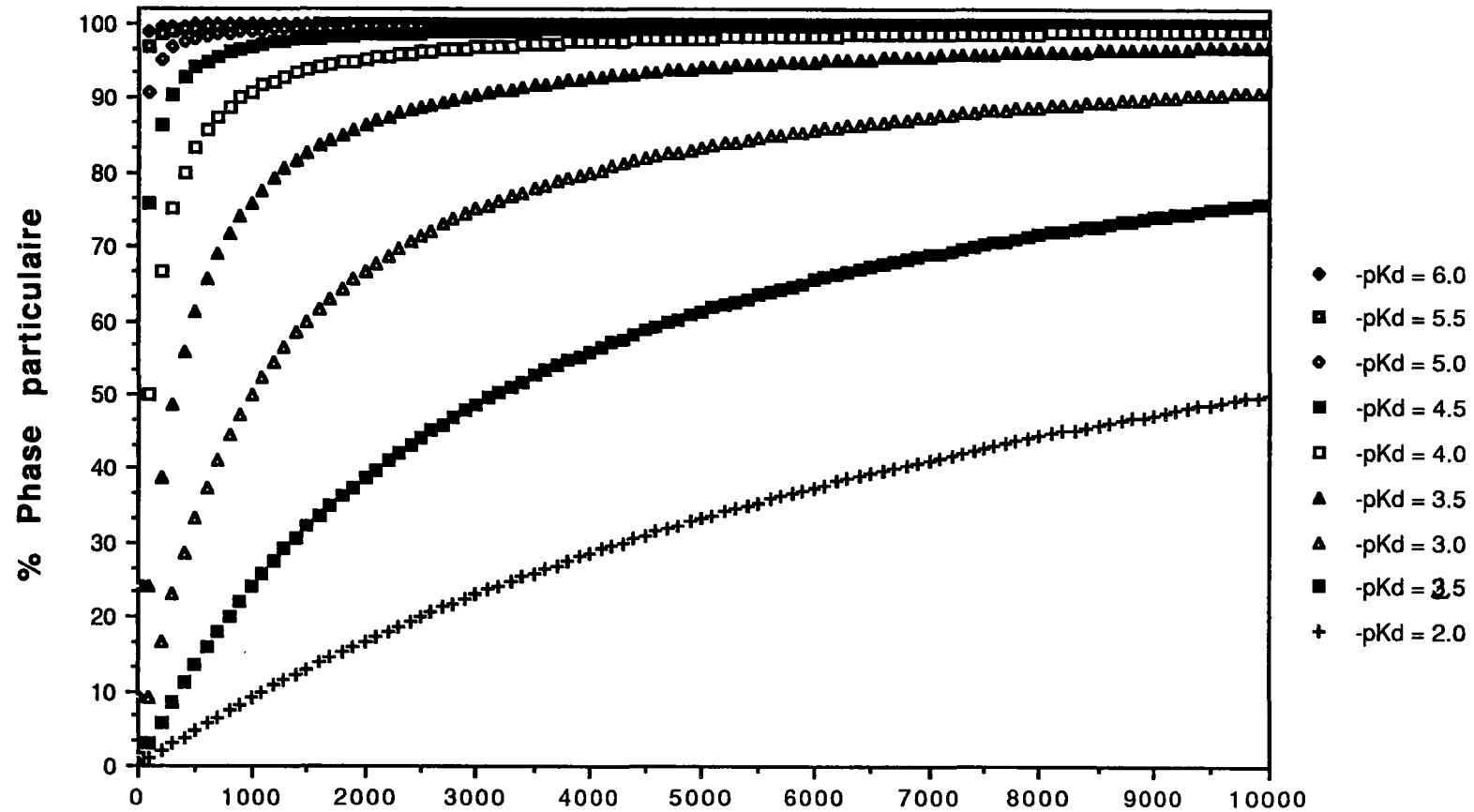


Fig. 8.3 – Matières en suspension (mg.L-1)

Les sédiments de fond sont soumis également à des équilibres morphologiques et chimiques. Du point de vue morphologique, ils peuvent se situer dans un site exempt de perturbation et, de ce fait, être graduellement recouverts de particules en suspension qui s'y déposent. Si le site est sujet à des contraintes provoquant de l'érosion ou une remise en suspension, les sédiments de fond ont alors une durée de vie limitée. Du point de vue chimique, les sédiments de fond sont en contact avec une faible quantité d'eau et, selon les équilibres de partage, ils devraient retenir fortement les contaminants déjà adsorbés.

Lorsque les sédiments de fond sont recouverts par d'autres sédiments, le volume d'eau environnant est moindre et la disponibilité des contaminants des couches inférieures diminue. Si par contre les sédiments de fond sont remis en suspension ou fortement perturbés, le volume d'eau environnant augmente et l'équilibre basé sur le coefficient de distribution favorise une remise en solution de certains contaminants.

En résumé, les sédiments de fond ou en suspension dans le milieu aqueux peuvent être une source de contamination ou de purification de l'eau. Ils sont, tout au moins, d'excellents témoins du niveau de pollution du milieu en regard d'un très grand nombre de contaminants.

8.2.2 Interactions: eau - sédiment

La qualité des sédiments dans le milieu aqueux est étroitement liée à celle de l'eau, en tant que phase dissoute, et à la concentration relative solides/eau. En raison de l'importance que représentent les Grands Lacs, tant en volume d'eau qu'en capacité de transport ou de rétention de contaminants, il faut tenir compte de la qualité des sédiments et de celle de l'eau à la sortie du lac Ontario.

Puisque la phase aqueuse du fleuve dans la région de Montréal est constituée d'au moins 80% de la phase dissoute du lac Ontario, et que la phase particulaire est plutôt minime, aucune évaluation de la qualité du Saint-Laurent ne peut être faite sans tenir compte des eaux à la sortie du lac Ontario.

Vu le manque d'information dans l'analyse de la qualité des sédiments du fleuve, de ses tributaires et de son estuaire, nous utiliserons comme élément de démonstration les données et les études imposantes réalisées par Environnement Canada, concernant la rivière Niagara, les lacs Érié et Ontario et le comportement de plusieurs contaminants dans les phases dissoute et particulaire.

Une présentation des connaissances acquises, des points d'interrogation soulevés et des recommandations sera faite pour chacune des régions considérées: Montréal, Trois-Rivières, Québec.

Beaucoup d'importance sera accordée à la qualité des sédiments du lac Ontario et à leur comportement, ainsi qu'aux données de l'île Wolfe à la sortie du lac Ontario.

8.3 Caractérisation de la qualité des sédiments de fond

Depuis les années 70, il y a eu plusieurs tentatives pour caractériser les fonds contaminés du Saint-Laurent, afin de pouvoir mettre en relief les zones les plus polluées, entre Cornwall et Montmagny. La figure 8.1 résume l'ensemble des paramètres de qualité (eaux - sédiments) mesurés dans le Saint-Laurent entre 1971 et 1988. Cependant, compte tenu de la grande diversité des critères de qualité, il devient très arbitraire de fixer les limites géographiques des zones dites contaminées; celles-ci diffèrent grandement d'un polluant à un autre et en fonction des sources de pollution

avait-il été analysé
plus tôt?

d'autant plus que la majorité des fonds sont souvent en mouvement. Les figures 8.4 et 8.5 illustrent bien ce phénomène d'évolution dans le cas du lac Saint-Louis. On remarque en particulier que les fonds contaminés de mercure (Hg) et de B.P.C. diffèrent grandement entre 1978 (fig. 8.4b) et 1984 (fig. 8.5 a et b) alors que d'autres contaminants comme le mirex sont apparus.

Il existe cependant un dénominateur commun à toute forme de contamination des fonds: il s'agit des zones de sédimentation fine (vaseuse) et de faible énergie hydraulique, constituées principalement d'un mélange silt-argile (limon) de même nature que les sédiments en suspension. La planche 8 identifie bien ces zones.

Les fonds constitués de roc, de graviers et d'argile consolidée de la mer de Champlain ne présentent aucun problème de contamination. Les fonds à dominance sablonneuse peuvent par contre contenir une portion de sédiments fins, susceptibles d'être contaminés (voir planche no 7).

8.4 Caractérisation et recommandations par région

8.4.1 Lac Ontario - Ile Wolfe (région de l'Ontario)

8.4.1.1 Bilan de qualité

Le lac Ontario a été l'objet de nombreuses études depuis plus de dix ans. On connaît bien les sources de pollution, les quantités de contaminants qui pénètrent dans le lac par la rivière Niagara, les sites d'accumulation dans les bassins profonds, mais on connaît très peu la situation à la sortie des lacs Ontario et Saint-Laurent tant en termes de quantité que de qualité dans les phases particulaire et dissoute.

Suite à une analyse exhaustive des nombreuses études sur le lac Ontario, Thomas, Gannon, Hartig, Williams et Whittle (1988) ont présenté la situation des contaminants dans ce lac. Ils ont considéré alors qu'il s'agissait du lac "le plus contaminé des Grands Lacs" et peut-être "le plus contaminé au monde".

La source principale des contaminants est la rivière Niagara qui constitue à la fois le déversoir des Grands Lacs en amont et le canal de réception de déchets industriels provenant des nombreuses industries sises le long des rives américaine et canadienne. Sur la base d'un débit liquide moyen de $6\,400\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et d'une concentration moyenne de matières en suspension de $8,9\text{ mg.L}^{-1}$, la charge estimée de BPC totaux à la sortie de la rivière varie de 200 à $2\,000\text{ kg.a}^{-1}$ selon les auteurs, et le pourcentage dans la phase particulaire est évalué autour de 50%. Les charges estimées d'autres contaminants comprennent celles de certains chlorobenzènes ($2\,000\text{ kg.a}^{-1}$), du plomb ($500\,000\text{ kg.a}^{-1}$) et du zinc ($2\,000\,000\text{ kg.a}^{-1}$).

Les matières en suspension de la rivière Niagara s'accumulent dans trois bassins profonds du lac Ontario. Un taux d'accumulation de 1 cm.a^{-1} (Mudroch 1983) a été observé dans le bassin Niagara, situé dans la partie ouest du lac. L'analyse de carottes a mis en relief la diminution des apports de contaminants, tel le mirex, dont l'usage a été restreint depuis plus de dix ans. Alors que les sédiments enfouis ne semblent plus présenter de possibilité quant à leur remise en suspension et à la désorption de polluants, on constate un déplacement de sédiments contaminés vers le bassin Rochester, à l'extrémité est du lac, et un élargissement des zones de sédiments de fond contaminés. L'existence d'importantes couches néphéloïdes (Mudroch 1986) au dessus des bassins d'accumulation et contenant de fortes concentrations de matières en suspension pourrait être à l'origine des déplacements et du transport des contaminants, lorsque des tempêtes ou des changements de température

saisonniers provoquent des courants de fond et des mouvements importants des masses d'eau.

Bien que tous les auteurs considèrent qu'une fraction des contaminants qui pénètrent dans le lac Ontario doivent sortir du lac et entrer dans le fleuve Saint-Laurent, cette fraction est diversement évaluée et les données disponibles pour cette évaluation sont rares, imprécises et incomplètes.

En utilisant les données de Kemp et Harper (1976) sur les charges de sédiments dans le Saint-Laurent, Thomas et al. (1988) évaluent à 310 kg.a^{-1} la quantité de BPC totaux à la sortie du lac, alors que les fonds du lac Ontario en retiendraient 350 kg.a^{-1} . De plus, les quantités de contaminants métalliques sortant du lac Ontario par le fleuve seraient du même ordre de grandeur que les quantités déposées. En comparaison avec cette évaluation qui situe à 50% le pouvoir de rétention du lac, les mêmes auteurs font état que la perte théorique des contaminants associés aux sédiments devrait être inférieure à 10% si on considère la circulation dans le lac. Une estimation des charges de matières organochlorées entrant et sortant du lac Ontario, pour la période 1982-84 (Sylvestre, 1987) indique une rétention dans le lac de 98% des BPC totaux et de 76% d'hexachlorocyclohexane. Selon cette évaluation, 100 kg.a^{-1} de BPC totaux et $1\ 650 \text{ kg.a}^{-1}$ d'hexachlorocyclohexane seraient exportés du lac Ontario.

L'évaluation des charges qui entrent dans le Saint-Laurent est donc difficile en raison de l'imprécision des modèles et d'un manque de données tant sur les concentrations de matières en suspension que sur les concentrations de contaminants dans la phase particulaire ou dans la phase dissoute.

Les données les plus récentes à l'île Wolfe (Naquadat, 1988) n'ont pas fait l'objet d'un rapport mais peuvent servir à une nouvelle évaluation des

charges à l'entrée du fleuve Saint-Laurent. D'une part, la concentration moyenne des matières en suspension est maintenant mieux connue, se situant à $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (25 données, communication personnelle de H. Biberhofer) sans variation saisonnière apparente. D'autre part, la sensibilité analytique accrue a permis de quantifier la concentration de plusieurs contaminants organiques dans l'eau. Les données sur les douze échantillons prélevés mensuellement à l'île Wolfe en 1986 font ressortir les constatations suivantes.

- La concentration moyenne de BPC totaux est supérieure à 2 ng.L^{-1} , ce qui correspond à une charge de plus de 500 kg.a^{-1} , lorsque l'on considère un débit liquide moyen de $8\,000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à l'île Wolfe.
- La concentration moyenne de BHC se situe à 3 ng.L^{-1} , ce qui conduirait à une charge d'environ 750 kg.a^{-1} .
- Les variations de concentrations sont importantes, montrant des maxima de 6 ng.L^{-1} pour les BPC et les BHC et un minimum de 1 ng.L^{-1} pour les BPC.
- Même si les sédiments en suspension sont $100\,000$ fois plus riches en BPC que la masse correspondante d'eau, la phase dissoute, en raison de son importance $1\,000\,000$ fois plus grande que celle de la phase particulaire, contient plus de 90% de l'ensemble des BPC.

8.4.1.2 Conclusion

- D'énormes quantités de contaminants se retrouvent dans le lac Ontario, issus de l'atmosphère, des autres

Grands Lacs et de ses rives. Une partie de ces contaminants est transférée dans le fleuve Saint-Laurent.

- Les sédiments qui entrent dans le lac Ontario ne sont pas tous enfouis définitivement dans les bassins d'accumulation.
- Aucun contaminant ne peut rester entièrement adsorbé sur un sédiment sous toutes les conditions. La répartition entre les phases particulaire et dissoute dépend d'un grand nombre de facteurs.
- La charge de contaminants exportés dans le fleuve Saint-Laurent se fait principalement par la phase dissoute et pourrait être importante.
- La situation à l'entrée du fleuve Saint-Laurent est mal connue, tant vis-à-vis la quantité et la qualité des sédiments que vis-à-vis la qualité de l'eau.

8.4.1.3 Recommandations

- La station existante à l'île Wolfe, ou toute autre station représentative de l'eau du lac Ontario à l'entrée dans le fleuve Saint-Laurent, devrait prélever des échantillons intégrés d'eau et de matières en suspension. L'intégration devrait porter sur tous les jours de l'année.

- La technique d'échantillonnage par centrifugation devrait être vérifiée par une autre technique, en regard de la capacité de la centrifugation à séparer les phases particulaire et dissoute, sans modifier la répartition des contaminants qui prévalait dans le milieu naturel.
- Les contaminants organiques BPC, HPA et chlorobenzènes, ainsi que les contaminants métalliques plomb et zinc devraient faire partie des contaminants analysés dans la phase entière.
- Les périodes d'échantillonnage intégré devraient être synchronisées avec des échantillonnages similaires en aval.

8.4.2 Ile Wolfe à Cornwall (région internationale)

8.4.2.1 Généralités

Les sources de contaminants le long de ce tronçon ont été identifiées, les charges et les caractéristiques des contaminants déterminées et des mesures efficaces ont été prises pour réduire, sinon éliminer, l'apport de ces contaminants au fleuve. Bien que la localisation de certains sites d'accumulation de sédiments contaminés soit connue, on ne dispose cependant pas de données concernant la stabilité et la persistance des dépôts à ces sites.

Les rapports techniques produits par les agences gouvernementales de l'Ontario, du Canada et de l'état de New-York font état de l'évolution de la qualité des apports municipaux, industriels et fluviaux, depuis la mise en place de mesures de contrôle des rejets.

8.4.2.2 Matières en suspension

La concentration des matières en suspension est très mal connue. On ne dispose que de quelques données sur les tributaires et sur le tronçon fluvial, données résultant de campagnes d'échantillonnage. De plus, la moyenne de 2 mg.L^{-1} obtenue aux stations de Cornwall, qui devrait refléter l'accroissement de charge dans le tronçon puisque ces stations paraissent représenter l'eau du fleuve, est entachée d'une imprécision élevée. Cette imprécision résulte de l'utilisation d'un protocole analytique qui ne s'applique qu'à des eaux contenant plus de 10 mg.L^{-1} .

La méconnaissance des concentrations de matières en suspension, associée à la seule connaissance des concentrations dans l'eau entière (phases dissoute et particulaire) ne permet pas de situer le rôle des solides dans la rétention, l'apport ou le transport des contaminants dans le tronçon.

Les deux principaux contaminants susceptibles de se retrouver sur les matières en suspension dans cette région sont les BPC et le mercure.

Des quantités énormes de BPC ont été déversées dans la rivière Grass et sur la rive sud du fleuve par des industries situées à Massena et, à un degré moindre, par des industries situées à Cornwall. Même si les affluents de ces industries ne présentent plus de teneurs élevées de BPC voisines de la limite permise de $2\,000 \text{ ng.L}^{-1}$, la contribution de ces effluents pourrait être néanmoins suffisante pour accroître la charge en BPC du fleuve de plusieurs dizaines de kilogrammes par année.

Quelques analyses des phases fractionnées de l'eau entière ainsi que des évaluations basées sur des analyses de matières en suspension indiquent que les BPC seraient à plus de 90% dans la phase dissoute dans la région de Cornwall.

Le mercure pourrait être considéré le principal contaminant métallique dans ce tronçon. Même si depuis 1970, les apports en mercure ont été considérablement réduits, on observait encore des teneurs élevées sur des matières en suspension en 1979. Bien que les calculs approximatifs concernant le mercure, le plomb et d'autres métaux tendent à indiquer que plus de 90% de la charge métallique se situerait dans la phase dissoute, on doit considérer cette valeur comme hypothétique, puisque dans plusieurs cas, la teneur était inférieure à la limite de détection analytique et que les valeurs dans la phase dissoute, et mesurées jusqu'à ce jour, sont remises en cause en raison de problèmes de contamination dans les laboratoires non-équipés de systèmes atmosphériques ultra-propres.

8.4.2.3 Sédiments de fond

Les campagnes d'échantillonnage réalisées en 1975, 1979 et 1981 ont mis en évidence les zones d'accumulation de sédiments et la qualité de la fraction superficielle. Le contaminant organique majeur est l'ensemble des BPC qui sont surtout localisés sur la rive sud en aval de Massena. Les chlorobenzènes sont présents en concentrations élevées au voisinage de Cornwall. Du côté minéral, les principaux contaminants sont le mercure sur la rive nord et l'arsenic sur la rive sud.

On ne dispose pas de données concernant l'importance, la stabilité ou l'évolution des zones d'accumulation. Peu de carottages ayant été réalisés, on connaît mal l'épaisseur des couches de sédiments contaminés et encore moins s'il s'agit de couches persistantes ou transitoires. Un carottage important de la zone fortement contaminée en aval de Massena a cependant permis une évaluation de la quantité de BPC accumulés à cet endroit. Sur la base d'une concentration supérieure à 50 ng.g^{-1} sur des profondeurs de 75 cm, impliquant près de $20\,000 \text{ m}^3$, environ 2 000 kg de BPC pourraient être enfouis dans une seule zone du tronçon.

Le transport vers le fleuve de contaminants présentement adsorbés sur des sédiments terrestres dans des sites d'enfouissement, par suite de l'érosion des sols ou par lixiviation dans la phase aqueuse, est une possibilité que met en relief le mouvement apparent des BPC vers les eaux souterraines observé autour de Massena.

8.4.2.4 Conclusion

L'élimination ou la réduction importante des sources de contamination le long de ce tronçon, en cours depuis plusieurs années, ne devrait pas produire un apport régulier de matières en suspensions contaminées.

La présence de sites fortement contaminés, identifiés ou non-identifiés, qui peuvent être localisés sur les fonds, les berges inondables et la terre ferme, constitue une source potentielle de matières en suspension contaminées en périodes de crues, lors de travaux de dragage ou par suite de phénomènes d'érosion.

Les zones d'accumulation pourraient contenir des quantités énormes de BPC ($\approx 2\,000$ kg) ou de mercure.

On ne connaît pas la stabilité des dépôts de sédiments terrestres et fluviaux vis-à-vis le passage en solution, la remise en suspension des contaminants ou leur neutralisation définitive par recouvrement.

8.4.2.5 Recommandations

- Une station jumelée et similaire à celle de l'île Wolfe devrait être mise en place à Cornwall pour y effectuer le même type d'échantillonnage en prévision des mêmes analyses.

- La mesure des matières en suspension devrait être faite à partir de la technique de centrifugation ou d'une autre technique validée pour de faibles teneurs.
- Un carottage régulier des zones d'accumulation devrait être fait dans le but de connaître l'évolution et la stabilité des dépôts. L'analyse devrait porter sur les contaminants et sur les paramètres chronologiques.

8.4.3 Cornwall - Montréal (Région de Montréal)

8.4.3.1 Généralités

L'élargissement du fleuve et la présence de canaux, de rapides et d'îles favorisent à la fois la rétention et le mélange des particules en suspension issues du tronçon international, dans cette section qui reçoit de plus les eaux de la rivière des Outaouais et celles industrielles, urbaines et agricoles de la région de Montréal.

Tous les phénomènes associés à l'interaction entre l'eau, les contaminants et les sédiments devraient se produire dans ce tronçon de façon visible et quantifiable.

L'étude la plus exhaustive de la qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent, qui prend en compte les données analytiques disponibles en 1976, est celle contenue dans le rapport technique no 15 du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, réalisé sous la direction de Sérodes (1978).

En plus des nombreux échantillons de surface qui ont été prélevés dans les zones de sédimentation, quelques carottes ont été prises aux sites les plus favorables à l'accumulation des sédiments fins.

Cette étude reflète bien la situation dans le fleuve Saint-Laurent à la fin des années 70. La carte-synthèse (Sérodes, 1978) constitue toujours une excellente référence. Les études postérieures à 1976 peuvent apporter des renseignements sur certaines zones non échantillonnées avant 1976, permettre d'évaluer l'évolution de la qualité des sédiments dans les zones d'accumulation ou d'estimer l'épaisseur des dépôts par des analyses de carottes. Dans tous les cas, les nouvelles données sur la qualité des sédiments auraient avantage à être présentées en comparaison avec celles du rapport technique no 15. La carte de la qualité de sédiments incluse dans ce rapport a aussi servi de base dans l'appréciation des données concernant la qualité des sédiments du fleuve Saint-Laurent en aval de Cornwall.

8.4.3.2 Lac Saint-François

L'étude de Sloterdijk (1985) sur les sédiments superficiels du lac Saint-François décrit la qualité granulométrique des fonds et situe les zones d'accumulation, principalement dans la partie aval du lac.

Les teneurs mesurées en mercure le long de la rive nord (jusqu'à 1 500 ng.g⁻¹) montrent le patron attendu de la contamination par la source précédemment localisée à Cornwall. Bien que le rapport de Sérodes (1978) fasse état d'une contamination importante en mercure, on ne peut établir si le degré de contamination a diminué suite à un recouvrement par des sédiments moins contaminés ou en raison du transport des sédiments contaminés vers l'aval.

L'étude de Sloterdijk (1985) établit la répartition des BPC dans les sédiments du lac, en mettant en relief la contribution de sources sises à l'entrée du lac, sur la rive sud, et le cheminement préférentiel de ce contaminant dans la partie sud du lac. Les teneurs de plus de 1 000 ng.g⁻¹

mesurées à l'ouest du lac sont comparables à celles mesurées dans la région de Massena (Kuntz 1988).

Selon son hydrodynamique, le lac Saint-François présente des conditions fluviales plutôt que lacustres et, par conséquent, une fraction importante des sédiments contaminés déjà déposés y séjourneraient de façon transitoire.

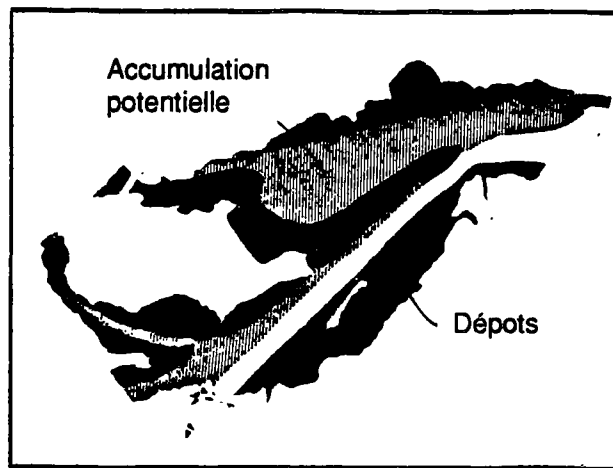
8.4.3.3 Lac Saint-Louis

Objet de plusieurs études, (voir figures 8.4 et 8.5) le lac Saint-Louis contient des sédiments de qualité très variable, recevant des suspensoïdes du fleuve, de la rivière Saint-Louis, du lac des Deux-Montagnes et de la rivière Châteauguay.

En 1978, Sérodes délimitait trois zones d'accumulation où des teneurs élevées en mercure, zing, plomb et BPC étaient observées.

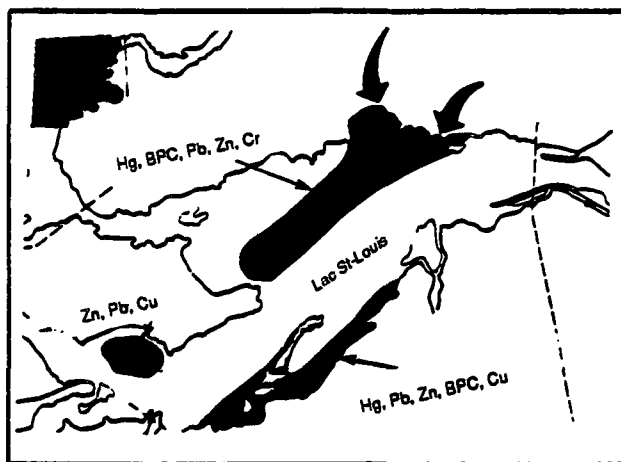
En 1985, Jarry et al. réalisaient une étude détaillée des sédiments superficiels et mesuraient également des teneurs élevées en mercure ($4\ 800\ \text{ng.g}^{-1}$) en certains BPC ($0,4\ \text{ng.g}^{-1}$) et en la plupart des constituants inorganiques.

Des carottages (Barbeau, Mudroch) montrent que l'épaisseur des dépôts accumulés depuis une soixantaine d'années varie de moins de 10 cm dans la partie nord-est du lac, (chenal Sainte-Anne et secteur Lachine), alimentée par la rivière des Outaouais via le lac des Deux-Montagnes, à plus de 20 cm dans la partie sud-ouest (chenal Vaudreuil et aval île Perrot), alimentée par le fleuve et la rivière des Outaouais et à plus de 20 cm dans la partie sud (Iles-de-la-Paix), alimentée par la rivière Saint-Louis.



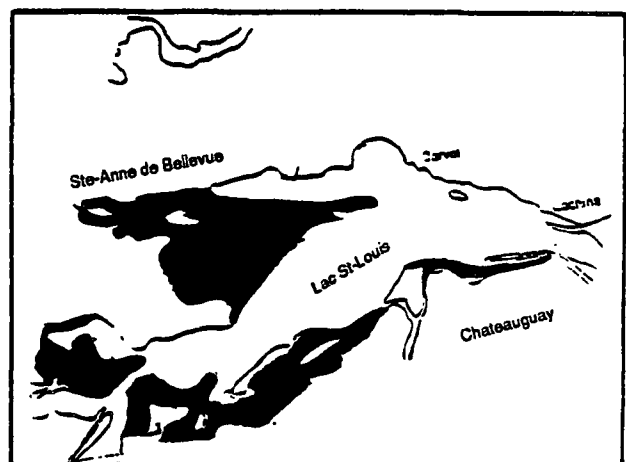
a) Frenette, Sérodes, Sasseville (1974);

Zones de dépôts et d'accumulation potentielles des contaminants
basées sur la nature des fonds et la dynamique du milieu



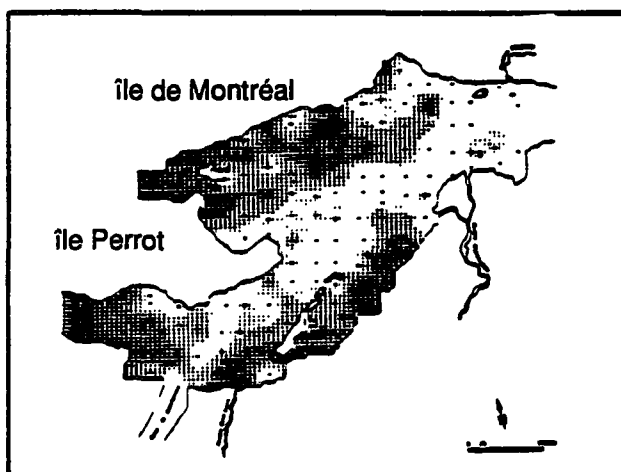
b) Env. Canada (J.B. Sérodes 1978);

Zones d'accumulation des
éléments toxiques (Hg, Pb, Zn, BPC, Cu)

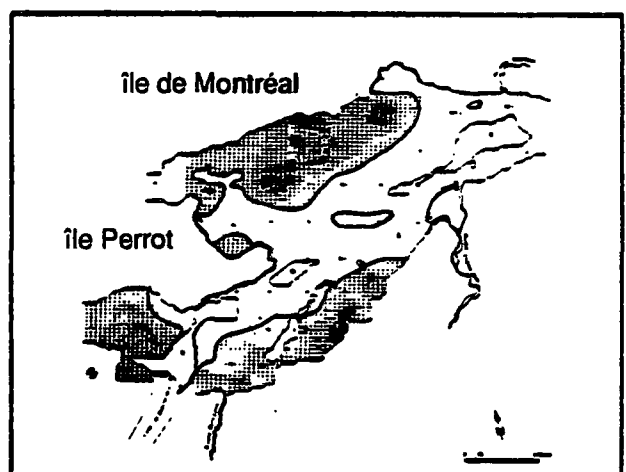


c) Hydrotech inc.; (Frenette, Verrette, Barbeau (1981)

Zones d'accumulation des polluants basées sur
la nature des fonds et le régime des vitesses



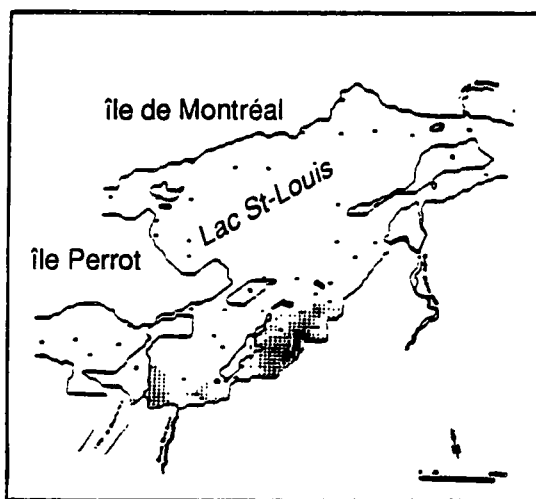
d) Env. Canada
Champoux, Sloterdijk (1984-1985);
Couche superficielle de sédiments
dominée par les silt et argiles



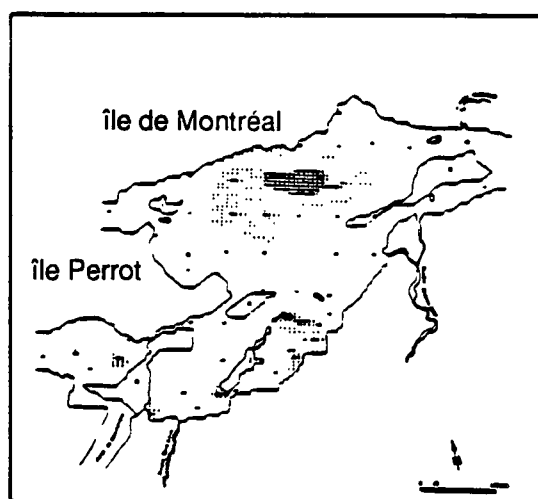
e) Env. Canada
Champoux, Sloterdijk (1984-1985);
Carte synthèse des sites contaminés par
l'ensemble des polluants

Légende: Mn . [shaded box] Max

**Fig. 8.4: LAC SAINT-LOUIS: CARACTÉRISATION GÉNÉRALE DES FONDS CONTAMINÉS
SELON DIVERS AUTEURS (1974-1985).**

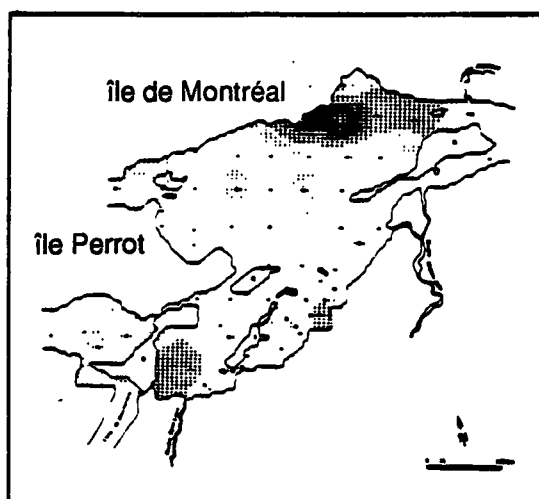


a) MERCURE

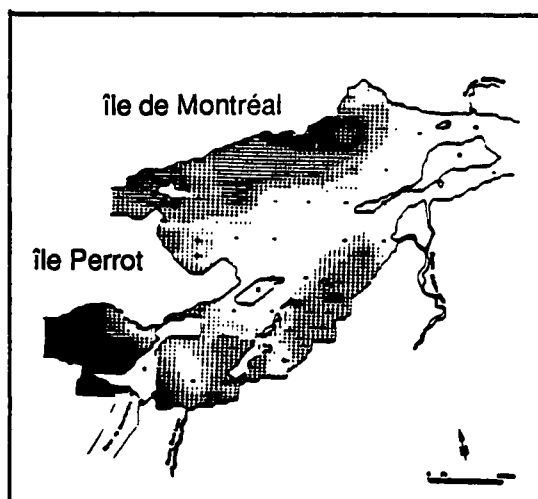


b) BPC

Note : La comparaison avec la figure 4,1 b) (1978) indique clairement une évolution des fonds.

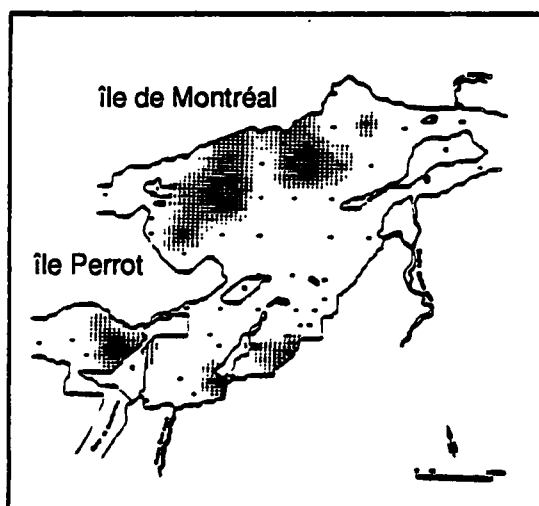


c) ARSENIC

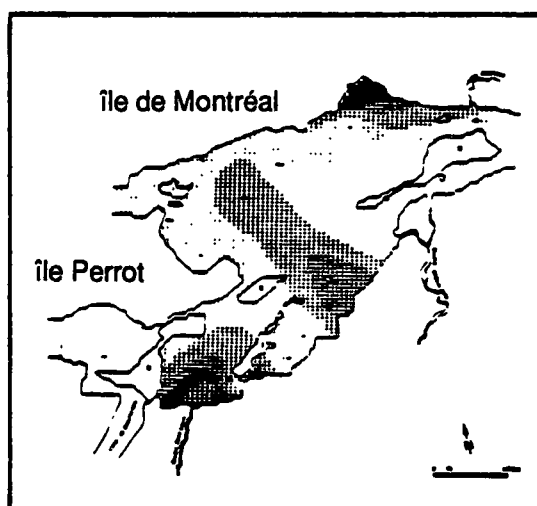


d) NICKEL

Note : Exemple d'une contamination locale (As) versus une contamination généralisée (Ni).



e) MIREX



f) HAP TOTAUX

Légende: Min  Max

Fig. 8.5 : LAC SAINT-LOUIS: CARACTÉRISATION PARTICULIÈRE DES FONDS POUR DIVERS PARAMÈTRES PAR: CHAMPOUX ET SLOTERDIJK (1984-1985) ENVIRONNEMENT CANADA.

Une étude de sites inondables dans la partie sud du lac (Barbeau et Sérodes 1989) montre que les plaines d'inondation le long de la rive ou sur les îles de la Paix retiennent les suspensoïdes et que l'épaisseur de ces sédiments apparemment consolidés est fonction de la hauteur de la colonne d'eau lors des crues. L'épaisseur maximale associée à la déposition depuis 1930 est de 25 cm et a été observée sur une de ces îles.

8.4.3.4 Lac des Deux-Montagnes

Le rapport de Sérodes (1978) fait état de teneurs élevées en mercure ($1\,400\text{ ng.g}^{-1}$) et en plomb. L'ensemble des fonds du lac était contaminé à l'époque de l'échantillonnage en 1972.

Un carottage réalisé en 1982 à quinze sites (Hydrotech Inc.) révèle que la partie sud du lac (baie de Vaudreuil) ne contenait pas plus de 2 cm de dépôt datant de 1955, que la rive nord était associée à des dépôts enrichis en plomb d'une épaisseur d'environ 10 cm dans la région d'Oka pour diminuer graduellement jusqu'à 3 cm aux extrémités. Les deux sites d'accumulation les plus importants ont été observés au nord (baie de Vaudreuil) et à l'ouest (chenal Vaudreuil) de l'île Perrot où les concentrations en plomb sont élevées sur plus de 20 cm d'épaisseur.

8.4.3.5 Rivière des Outaouais

Le rapport technique du comité de coordination qui traite des données de qualité accumulées par les différents organismes gouvernementaux durant les années 1979 et 1984 constitue la base la plus importante des connaissances sur les suspensoïdes et les sédiments de ce tributaire, dont l'importance relative est élevée.

A titre de comparaison avec les autres secteurs décrits, rappelons que le débit de la rivière des Outaouais est d'environ $2\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à l'entrée du lac des Deux-Montagnes par rapport à $\sim 8\,000\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à l'entrée du lac Saint-François. De plus, la population du bassin est estimée à environ 2 millions d'habitants comparativement aux 40 millions du bassin des Grands Lacs.

Sur la base d'une pollution anthropogénique per capita de même ordre de grandeur dans les deux bassins, les eaux de la rivière des Outaouais devraient donc déverser dans le lac des Deux-Montagnes le cinquième des contaminants de la phase dissoute exportés par le lac Ontario. L'évaluation du transport par les suspensoïdes demeure difficile en raison des variations importantes de concentrations des matières en suspension dans la rivière des Outaouais, contrairement à la teneur faible et presque constante observée à la sortie du lac Ontario. Cependant, la charge sédimentaire totale estimée à l'entrée du lac des Deux-Montagnes étant supérieure (facteur 2) à celle estimée à l'île Wolfe, on peut considérer que la concentration des contaminants sur les particules en suspension sera plus faible en raison de la dilution par accroissement du nombre de particules.

Les données de l'eau et celles des sédiments de fond démontrent que la rivière des Outaouais semble constituer un milieu beaucoup moins contaminé, tant dans sa phase dissoute que dans sa phase solide, que ne l'est le fleuve Saint-Laurent dans le tronçon international.

En 1986, Merriman et Metcalfe mesuraient moins de 2 ng.L^{-1} de a-BHC dans la partie aval de la rivière des Outaouais, alors que la valeur minimale mesurée la même année à l'île Wolfe était de 2 ng.L^{-1} , la moyenne étant de 3 ng.L^{-1} . D'autres pesticides organochlorés présentaient les valeurs minimales observées de l'île Wolfe ou se trouvaient en concentrations inférieures à la limite de détection.

Les analyses dans la région d'Ottawa en 1980 (Merriman et McCrea, 1985) montrent des teneurs faibles en BPC qui atteignent cependant 30 ng.L^{-1} durant le mois de mai.

Les analyses de sédiments prélevés en 1982 et en 1986 (Merriman 1987, Merriman et Metcalfe 1988) n'indiquent pas la présence de contaminants organiques en quantités notables tout le long de la rivière. Ainsi, aucun échantillon ne montrait une teneur supérieure à 20 ng.g^{-1} de BPC (limite de détection). L'absence d'une contamination significative par BPC est confirmée par la gamme de valeurs trouvées par Croteau et al. (1984) sises entre 28 et 80 ng.g^{-1} . Il en est de même pour les HAP et les pesticides organochlorés dont les teneurs étaient toutes sous le seuil de détection.

8.4.3.6 Laprairie-Sorel

Entre Laprairie et Sorel le fleuve reçoit des eaux usées industrielles et urbaines ainsi que des eaux de rivières de bassins agricoles.

Le plus important enrichissement potentiel du fleuve Saint-Laurent en contaminants dans les phases dissoute et particulaire se situerait en aval de la rivière l'Assomption, si on tient compte de la population et des activités industrielles et agricoles.

Les données restreintes sur les suspensoïdes (Germain 1987) ne montrent aucun accroissement significatif en BPC dans l'ensemble des fractions des eaux du fleuve à Pointe-aux-Trembles et à Lanoraie, bien que la fraction particulaire contienne des teneurs de l'ordre de 100 ng.g^{-1} . Cette dernière valeur a été également mesurée dans des sédiments du fleuve à Repentigny (Paul et Laliberté 1982).

Les sédiments de fond peuvent s'accumuler dans le bassin de Laprairie, à l'arrière de la canalisation maritime et autour des îles de la région de Contrecoeur. Les analyses de sédiments de surface et de sections de carottes dans cette dernière région ont mis en évidence des teneurs de BPC légèrement inférieures à 100 ng.g^{-1} dans des sédiments récents et contaminés d'une épaisseur voisine de 20 cm.

8.4.3.7 Conclusion

Dans ce tronçon, ce sont les sédiments du fleuve Saint-Laurent plutôt que ceux de la rivière des Outaouais qui doivent être considérés contaminés. Bien que peu de sites aient été échantillonnés le long de la rivière des Outaouais, aucun ne s'est révélé enrichi en contaminants. Sans exclure la possibilité que des zones d'accumulation non identifiées existent, les données sur la qualité des milieux solide et dissous et l'absence de sources importantes de contaminants permettent de considérer les particules solides dans la rivière des Outaouais de meilleure qualité que celles des eaux du fleuve.

Les lacs Saint-François, Saint-Louis et des Deux-Montagnes favorisent une certaine rétention des suspensoides, mais ne semblent pas constituer des pièges définitifs à sédiments, sauf pour les secteurs abrités si on tient compte de la dynamique fluviale et des caractéristiques granulométriques des fonds.

Les zones d'accumulation dans les lacs sont très bien identifiées, mais on ne connaît pas bien la stabilité, l'épaisseur et la persistance des dépôts ou des particules qui forment ces dépôts. A titre d'exemple, la bathymétrie peut paraître stable, c'est-à-dire non évolutive, alors que les particules de fond peuvent très bien être mobiles et être remplacées au fur et à mesure par de nouvelles particules.

Les contaminants organiques organochlorés sont plus significatifs que les contaminants métalliques (Pb, Zn, Hg) en raison, d'une part, de la sensibilité accrue des appareils analytiques vis-à-vis les composés organiques et de l'absence naturelle des contaminants organiques recherchés et, d'autre part, de la réduction importante de sources atmosphériques ou fluviales des métaux et de la présence naturelle de la plupart des métaux soupçonnés d'être contaminants.

8.4.3.8 Recommandations

- Un carottage périodique dans les zones d'accumulation identifiées ou soupçonnées d'être contaminées d'après les données d'analyse granulométrique, devrait être entrepris pour établir la datation des dépôts et les variations dans les concentrations de contaminants. Le secteur des îles de Boucherville à Contrecoeur devrait faire l'objet d'une attention particulière.
- Les paramètres dosés devraient être les contaminants organiques chlorés, principalement les BPC, les chlorobenzènes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les métaux lourds Hg, Pb, Zn et les radioéléments émetteurs de radiation, principalement Cs-137, Co-60 et Sc-46, les deux derniers permettant l'identification de sédiments issus de la rivière des Outaouais.

8.4.4 Région de Trois-Rivières (Sorel-Deschambault)

Dans ce secteur, les nombreux tributaires contribuent à un accroissement notable des matières en suspension. En particulier, les rivières

Richelieu, Yamaska et Saint-François transportent des charges sédimentaires importantes, susceptibles de contenir des contaminants associés aux activités agricoles et industrielles.

8.4.4.1 Généralités

La présence d'un delta, les apports de nombreux tributaires importants, l'élargissement et le rétrécissement du fleuve sont autant de facteurs qui concourent à modifier la composition des matières en suspension et celle des sédiments de fond dans ce secteur.

La qualité des solides devrait devenir graduellement homogène d'amont en aval et s'améliorer par ajout de solides peu ou non contaminés. Les zones d'accumulation permanente se limiteraient aux îles du delta et aux plaines inondables.

Bien que peu d'échantillons aient été analysés, les données de Langlois et Sloterdijk (1988), ainsi que celles de Germain (1987) indiquent que la concentration en contaminants organiques dans les suspensoïdes diminue de l'entrée à la sortie du lac Saint-Pierre. D'un autre côté, les données de qualité des sédiments des rivières, Richelieu, Yamaska et Saint-François, tant dans les secteurs lacutres qu'en aval des villes, montrent qu'ils sont moins riches en contaminants organiques et métalliques que les suspensoïdes en amont de Sorel ou les sédiments du delta de Sorel (Paul et Laliberté, 1988, Paul 1984, Bisson et al. 1979).

En raison de l'apport élevé de matières en suspension par les rivières de la rive sud du lac Saint-Pierre, on observe une diminution de la concentration moyenne des contaminants sur les particules solides en transit ou déposées dans le lac Saint-Pierre. Quant à la charge contaminante totale

supportée par les solides en suspension, les données ne sont pas suffisantes pour en établir l'importance.

8.4.4.2 Sédiments de fond

Alors que les sédiments de fond des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François montrent des teneurs en BPC inférieures à 50 ng.g^{-1} dans 80% des échantillons (Paul et Laliberté 1988), ceux du delta de Sorel dépassent généralement 100 ng.g^{-1} dans les échantillons de surface (Langlois et Sloterdijk 1988) et sont rarement sous 50 ng.g^{-1} dans les sections de carottes identifiées à la période post 1950 (Sérodès 1978).

A la lumière des résultats d'analyse de métaux, de contaminants organiques et de datation par radioactivité (Langlois et Sloterdijk 1988, Gauthier 1987, Barbeau 1979, Sérodès 1978), il ressort que le delta de Sorel constitue une région favorable à l'accumulation des sédiments. Particulièrement, la partie centrale du delta autour des îles contient des dépôts de sédiments accumulés depuis une quarantaine d'années, et d'épaisseur variant entre 15 et 30 centimètres.

En aval du delta de Sorel, dans la partie nord du lac Saint-Pierre, les sédiments de fond seraient moins contaminés que ceux du delta. La partie sud du lac ayant été peu échantillonnée, il est difficile d'évaluer la qualité des sédiments. Cependant, compte tenu de la granulométrie des fonds, il apparaît peu probable que les matières en suspension issues des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François puissent s'accumuler dans cette partie. Quelques carottes prélevées dans les plaines inondables de la rive nord et de la rive sud du lac, montrent que le taux d'accumulation serait faible ($\approx 20 \text{ cm}$ durant les 40 dernières années) et que les concentrations en contaminants seraient nettement inférieures à celles observées dans les carottes des îles de la Paix.

A la sortie du lac Saint-Pierre, la présence de l'Ile-aux-Sternes (1 500 000 m³ de sédiments de fond du Saint-Laurent dragués en 1965 pour constituer une île d'environ 400 m de diamètre en bordure de la rive nord de Baie-Jolie) constitue un site favorable à l'accumulation de sédiments lors des crues printanières. Par carottage et analyse de la radioactivité, on a pu établir que les sites les plus inondés pouvaient contenir plus de 15 cm de sédiments fins présumément déposés depuis la formation de l'île (Paquet 1988).

Sauf pour une zone potentielle d'accumulation à la sortie de la rivière Bécancour et de zones particulières aux embouchures de rivières, il n'existe pas de site favorable à la rétention jusqu'à Deschambault (rapides Richelieu).

8.4.4.3 Conclusion

La qualité des suspensoïdes paraît s'améliorer appréciablement le long de ce tronçon, particulièrement à la sortie du lac Saint-Pierre. L'apport important de charges en suspension par les rivières, leur faible contamination en termes de concentration en substances toxiques et la rétention de matières en suspension, par et dans les îles à la tête du lac, sont tous des facteurs qui contribuent à l'amélioration de la qualité de la phase particulaire. Les teneurs plus élevées en particules solides pourraient même contribuer à améliorer la qualité de la phase dissoute dans le secteur fluvial, en adsorbant une plus grande quantité des contaminants dissous, mais par contre pourraient accentuer l'état de contamination au niveau de l'estuaire, soit en aval de l'île d'Orléans.

Les sédiments de fond s'accumulent principalement dans le secteur des îles du delta de Sorel et possiblement sur les rives inondables. On y observe une accumulation pouvant atteindre 1 cm.a.⁻¹. Le degré de contamination y est beaucoup moins élevé que dans les lacs Saint-François ou Saint-Louis. De plus,

la partie centrale et l'aval du lac Saint-Pierre ne sont pas nécessairement exemptes de contaminants mais du moins retiennent très peu les sédiments fins contaminés ou les disséminent dans des sédiments grossiers ou non contaminés.

8.4.4.4 Recommandations

- En synchronisme avec l'échantillonnage à Cornwall et au pont Champlain, il faudrait recueillir les fractions particulaires et dissoutes sous le pont de Trois-Rivières à une station clairement identifiée, représentative des eaux intactes du fleuve Saint-Laurent ou mélangées avec celles des tributaires. A cette station pourraient être associées deux stations, sud et nord, lors des périodes de crues.
- Les îles du delta de Sorel, l'Ile-aux-Sternes et les plaines inondables devraient faire l'objet de carottages réguliers aux mêmes sites d'échantillonnage ou être pourvus de pièges à sédiments lors des périodes de crues printanières.
- Les paramètres à analyser devraient être restreints à un indicateur de contamination organique (exemple BPC ou chlorobenzène) un indicateur de pollution métallique (Pb ou Zn) et un indicateur de temps (Be).

8.4.5 Deschambault à Montmagny (région de Québec)

8.4.5.1 Généralités

L'apport de contaminants dans ce secteur provient surtout de la rivière Chaudière et des activités industrielles et urbaines le long du Saint-

Laurent particulièrement sur la rive nord, soit à Portneuf, Donnacona et dans la région immédiate de Québec.

Les matières en suspension contaminées des rivières de la rive nord accroissent la teneur moyenne en suspensoïdes du fleuve Saint-Laurent, ce qui devrait contribuer à diminuer la concentration en contaminants dans la phase particulaire du fleuve.

L'influence de la marée et le mélange des eaux douces et des eaux salées en aval de ce secteur favorisent des phénomènes importants et spécifiques pour ce secteur. La floculation des particules et une certaine désorption de contaminants en milieu salé ainsi que l'accumulation périodique sur les battures font de ce secteur un lieu d'échanges importants entre les phases dissoute et particulaire.

8.4.5.2 Matières en suspension

Sauf quelques campagnes de mesures ponctuelles (Lum et Kaiser 1988, Germain 1987) qui tendent à démontrer que les contaminants organiques sur les particules sont en plus faibles concentrations que dans la partie amont du Saint-Laurent, il n'existe pas de données similaires à celles de l'île Wolfe. Les données sur la qualité des eaux en face de Québec, de 1950 à 1980, ne contiennent pas suffisamment de résultats et ne traitent pas assez des contaminants pour que l'on puisse évaluer la qualité des matières en suspension.

En amont et en aval de Québec, la méconnaissance de la qualité des matières en suspension est donc très grande.

8.4.5.3 Sédiments de fond

Outre les pièges "artificiels" à sédiments que sont les ouvrages portuaires, (ex.: Portneuf) il n'existe pas de sites propices à l'accumulation avant les battures en amont et en aval de l'île d'Orléans et dans le bras nord de l'île d'Orléans.

La modification morphologique des battures de Beauport par la construction de l'autoroute Dufferin a probablement provoqué un changement dans le patron de déposition des sédiments dans ce secteur. Auparavant, des sédiments contaminés avaient été observés durant certaines périodes de l'année, alors que durant d'autres périodes, les fonds étaient exempts de contamination. Un nouveau patron de déposition des sédiments en transit semble maintenant impliquer la partie amont et le bras nord de l'île d'Orléans.

Les zones intertidales en aval de l'île d'Orléans ont fait l'objet d'études portant sur la quantité et sur la qualité des sédiments (Lucotte et D'Anglejean, 1986, Deschênes et Sérodes, 1987).

On a estimé que l'accumulation de sédiments fins durant la période d'été pouvait atteindre 0,5 million de tonnes. A l'automne, après la destruction du couvert végétal, ces sédiments seraient repoussés dans le bras nord de l'île d'Orléans pour y séjourner jusqu'au printemps suivant, alors qu'ils seraient entraînés vers l'aval par les crues subséquentes.

Les concentrations en métaux lourds mesurées dans ces sédiments sont inférieures à celles observées dans les zones de déposition de la région de Montréal.

L'analyse d'une carotte (Sérodes 1978) révèle que les BPC se situent autour de 20 ng.g^{-1} jusqu'à près de 50 cm de profondeur et que l'accumulation estivale atteint 20 cm.

8.4.5.4 Conclusion

- On ne connaît pas la charge de contaminants qui est exportée du fleuve à l'estuaire. La répartition des contaminants entre les phases dissoute et particulaire est inconnue, non seulement à la fin de leur séjour en eau douce, mais aussi lors de leur mélange avec la masse d'eau salée.
- On connaît assez bien le processus d'accumulation saisonnier des sédiments sur les battures des rives nord et sud en aval de l'île d'Orléans, mais les processus de dynamique de transport, de relocalisation et d'éventuelle déposition dans le bras nord de l'île d'Orléans demeurent très imprécis et obscurs.

8.4.5.5 Recommandations

Une station d'échantillonnage jumelée à celle de l'île Wolfe devrait être installée dans le fleuve en face de Québec. La technique, la fréquence d'échantillonnage, ainsi que les paramètres analysés devraient être les mêmes qu'à l'île Wolfe. Une telle station constitue l'unique possibilité d'établir un bilan des charges contaminantes avant leur dispersion dans l'estuaire et le golfe.

Une campagne de carottage et de mise en place de pièges à sédiments devrait être entreprise dans les parties amont et aval du bras nord de l'île

d'Orléans, conjointement avec une campagne similaire sur les battures de Cap Tourmente. Les analyses de datation et de qualité des sédiments prélevés devraient permettre d'établir le bilan de l'exportation totale des sédiments vers le golfe. Le dépôt de sédiments qui seraient retenus de façon permanente dans le bras nord de l'île d'Orléans pourrait constituer le réservoir définitif d'une partie des suspensoïdes du fleuve Saint-Laurent.

IX SYNTHESE SUR LA DYNAMIQUE DES FONDS CONTAMINES

Les travaux du Comité d'étude du Saint-Laurent, Sérodes (1978), ont conduit à la préparation d'une carte synthèse sur la qualité des fonds qui démontrait entre autres que les teneurs en cuivre et en zinc étaient élevées et que les BPC étaient présents dans plusieurs secteurs du Saint-Laurent. Cette carte présentait cependant un cliché statique de l'état de contamination des fonds ne tenant pas compte de la mobilité de ceux-ci en fonction de saisons ou des années.

L'actualisation de cette carte avec les données plus récentes, intégrée à l'hydrodynamique dynamique² du Saint-Laurent, a permis de dresser une carte ssynthèse (voir planche no 8) entre Cornwall et Montmagny définissant la dynamique des sédiments selon quatre modes d'évolution: 1) transport, 2) érosion-déposition, 3) dépôt stable et 4) déposition-accumulation. Plus spécifiquement, cette caractérisation se définit comme suit:

Transport: zone de charriage continu (ex.: chenal maritime).

Déposition-érosion: zone potentielle de déposition en période d'étiage suivie d'érosion en période de forte hydraulité (crue, vent), comme dans les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre.

Dépôt stable: _____ zone de dépôts ayant atteint un niveau d'équilibre stable (ex.: batture de Portneuf);.

Déposition-accumulation: zone de dépôt en état de croissance (ex.: delta de Sorel, ports, marinas).

Les zones potentielles de déposition et d'accumulation des polluants de même que les zones contaminées par une ou plusieurs substances toxiques apparaissent également sur la planche no 8.

Règle générale, on observe une transition dans les modes d'évolution des sédiments de fond depuis le centre du fleuve (chenal maritime) jusqu'au rives. C'est ainsi, par exemple, que le centre du fleuve se présente comme une zone de transport tandis que l'approche des rives est caractérisée plutôt par des zones de déposition et d'accumulation des polluants, et les zones intermédiaires par un jeu d'érosion et de déposition (saisonnier ou annuel) ou encore par des dépôts stables.

On observe de plus que la dynamique des sédiments de fonds est nettement plus variable et complexe en amont du lac Saint-Pierre qu'en aval. Les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre, de même que le bassin de Laprairie présentent en particulier une dynamique assez complexe, en terme de mobilité des fonds. En aval, le phénomène de marée a pour effet d'accroître les composantes dynamiques du milieu, phénomène qui se reflète au niveau des fonds.

Enfin, comme il était pressenti, ce sont dans les zones plus propices à la déposition et l'accumulation des polluants, caractérisées par des conditions hydrodynamiques faibles, que l'on retrouve les fonds les plus contaminés du fleuve.

X CONCLUSION GENERALE

La plus grande dominante de cette analyse synthèse démontre que plusieurs relevés et études sectoriels ont fait l'objet d'une reconnaissance générale du Saint-Laurent. Cependant, il existe très peu d'analyses sur l'interaction et le comportement dynamique des sédiments eu égard à la qualité de l'eau et des divers milieux aquatiques en mouvement. Bref, jusqu'ici les efforts ont surtout servi à inventorier le Saint-Laurent sur une base statique selon diverses facettes (physiques, chimiques, physico-chimiques, biologiques et autres), mais le comportement dynamique des solides dans le fleuve et leur interaction avec l'environnement et les divers écosystèmes en général, sont relativement peu connus. Il est à peine possible d'en saisir l'image globale, et on est encore loin d'en connaître l'évolution spatiale et temporelle (saisonnière et annuelle). Les divers processus évolutifs confèrent aux sédiments du Saint-Laurent un rôle important à tous les niveaux: qualité de l'eau, qualité des plages, qualité des habitats fauniques, qualité des aménagements portuaires et autres, processus d'élimination des polluants, potentiel biologique, productivité de l'écosystème aquatique, dragages, pour ne nommer que ceux-là.

La connaissance superficielle et ponctuelle d'une fraction de la quantité et de la qualité des sédiments fins, en suspension ou déposés, combinée à la méconnaissance de l'hydrodynamique et des charges contaminantes

dans la phase dissoute et particulaire ne permet pas, malheureusement, de répondre aux questions suivantes:

- Quel est le cheminement suivi par les sédiments à leur entrée dans le fleuve?
- Quelle est la taille des particules à chaque point d'entrée, en vue d'établir la fraction susceptible de se déposer par rapport à celle pouvant se maintenir en suspension?
- Quelle est la dynamique des sédiments dans chaque corridor d'écoulement et les processus d'échange eau-sédiment?
- Quelle est la qualité des suspensoïdes à leur point d'entrée dans le fleuve et celle qui alimente les dépôts?
- Quels sont l'épaisseur et l'âge des dépôts des sédiments de fonds contaminés?
- Quelle est la permanence (stabilité) des dépôts dans les zones d'accumulation?
- Quelle est la variation spatiale et temporelle des eaux et des sédiments contaminés en périodes de crue et d'étiage?
- Quelle est la proportion de contaminants dans la phase dissoute par rapport à la phase particulaire?

- Comment se distribuent les contaminants dans les différentes phases lorsque la concentration de sédiments dans l'eau varie (ex.: lac Saint-Pierre)?
- Comment se comportent les sédiments à leur arrivée dans l'estuaire?

Il faut donc entrevoir la présente étape sur les sédiments du Saint-Laurent comme "un point tournant" entre les inventaires plus ou moins "statiques" et la véritable reconnaissance "dynamique" du Saint-Laurent. De telles études de comportement dynamique doivent bien sûr être réalisées selon les saisons en fonction des divers milieux aquatiques et des divers écosystèmes en mouvement.

Comme nous l'avons vu, le fleuve Saint-Laurent comporte plusieurs régions et sous-régions. Dans chacune de celles-ci, il est possible d'identifier des fonctions (navigation, dragage, régulation des eaux, rejets urbains, récréation, aménagements industriels urbains, agricoles et portuaires, protection des berges, habitats fauniques, etc...) et des processus (lacustre, fluvial, rapides, estuarien, îles, etc...) qui, par interaction réciproque, sont des facteurs de contrôles physiques et dynamiques des différents régimes hydrodynamique, sédimentologique, thermique, glace, etc...

Les Grands Lacs jouent un rôle important sur l'ensemble des régimes hydrologique et hydrodynamique du Saint-Laurent, et ce, jusqu'à l'estuaire. La connaissance de ce rôle pour chaque région est indispensable bien qu'encore mal connue.

Au niveau des bassins de drainage, les pratiques sylvicoles et agricoles, de même que l'utilisation du territoire en général, influencent le cycle hydrologique et favorisent l'érosion, donc l'apport de sédiments, deux éléments de base importants dans l'hydro-sédimentologie du fleuve.

La reconnaissance de tous ces facteurs est loin d'être complétée. Les recherches futures devraient s'orienter vers l'évolution spatio-temporelle des différents paramètres hydrodynamiques et sédimentologiques (qualité et quantité) identifiés dans ce rapport. Notons, en particulier, l'influence des Grands Lacs, les mécanismes de transport solide, le comportement et les processus d'échange dans les zones de mélange et dans les aires de sédimentation, notamment en période de crue (rappelons que plus de 70% de la masse solide est en mouvement durant cette période), la datation des dépôts, afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble sur les aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent.

Avec le programme de dépollution du fleuve, il apparaît évident qu'il y aura une décontamination progressive des sédiments en suspension susceptibles de se déposer dans les zones déjà contaminées. Le cas échéant on devrait assister à une restauration naturelle des fonds avec le recouvrement des sites par des sédiments non contaminés. Selon les connaissances actuelles, il nous apparaît donc très risqué de vouloir extraire artificiellement (ex.: par dragages) les dépôts contaminés du Saint-Laurent. Il importe en effet de connaître si les zones d'accumulation de polluants sont toujours actives et sujettes à des érosions ou des dépositions périodiques ou si elles ont atteint un état d'équilibre stable. Selon toute vraisemblance cependant, à cause de la dynamique diversifiée du milieu, les secteurs complètement inactifs sont très limités dans le Saint-Laurent, sauf dans les secteurs bien abrités comme à l'intérieur des aménagements portuaires ou en retrait des îles.

Etant donné que le déplacement des sédiments contaminés, stabilisés et enfouis comporte des risques de remise en suspension, de relargage de polluants et de changements dans les équilibres physiques, chimiques et biologiques, il faudrait:

- bien identifier les zones contaminées, établir la ou les causes de pollution et le degré de mobilité des zones et, avant toute intervention, s'assurer que les sources de contamination sont complètement taries;
- considérer en priorité la restauration naturelle et l'enfouissement des sites contaminés par le recouvrement graduel par des sédiments non contaminés;
- établir la liste des sites prioritaires d'interventions après caractérisation et dans les cas où la restauration naturelle ne peut être envisagée s'assurer que les zones ne présentent aucun risque de recontamination.

En somme, chaque processus physique, chimique ou dynamique des sédiments du fleuve devrait être identifié en fonction des critères spatio-temporels selon les caractères dominants de chaque région et sous-région, étant donné le portrait hétérogène du Saint-Laurent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLAN, R.J. The limnological units of the lower great lakes - St.Lawrence river corridor and their role in the source and aquatic fate of toxic contaminants, Water Pollution Research Journal of Canada, 1986, pp. 1-10.
- ALLAN, R.J. The role of Particulate matter in the fate of contaminants in aquatic ecosystems, National Water Research Institute, Scientific Series no 142, 1986.
- ASSELIN, BENOIT, BOUCHER, DUCHARME, LAPOINTE INC. Etude du Port de Québec (1977). Etudes environnementales. Montréal, 1977.
- AUDY, E., R. LATOUR, P. GIGUERE. Le mercure dans le bassin de la rivière Saint-Maurice (incluant autres éléments). Les Consultants Pluritec Ltée, Canada, ministère des Pêches et de l'Environnement, Services de la protection de l'Environnement, 1977.
- AYOUB, A., P.B. CLIBBON, M. FRENETTE, J. BEDARD. et al. Projet d'aménagement du chenal nord de l'île d'Orléans, étude d'opportunité. Centreau, Québec, ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, 1972, 279 p.
- BARBEAU, C., R. BOUGIE et J.E. COTE. Variations spatiales et temporelles du "CS-137" et du carbone dans des sédiments du fjord du Saguenay, Journal canadien des sciences de la terre, 1981, 18 pp. 1004-1011.
- BELAND, J. Etude de la qualité des eaux. Fleuve Saint-Laurent. Tronçon Varennes-Montmagny, Québec, Services de protection de l'Environnement, mars 1974, 250 p.
- BELAND, J. et R. DEMERS. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. La teneur en substances toxiques dans les plantes aquatiques et les facteurs limitant leur croissance. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Québec, 1978, 179 p.
- BELAND, J., G. PELLETIER, M. RICARD. Revue des besoins en protection de l'environnement du fleuve Saint-Laurent, Canada, ministère de l'Environnement, 1984, 162 p.
- BELAND et DEMERS INC. Les substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. Résumé, Canada, ministère de l'Environnement, 1981, 95 p.

- BELAND, C., Y. DESCOTEAUX et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Plan d'utilisation des matériaux dragués dans le fleuve Saint-Laurent. Environnement Canada. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. 1978, 173 p.
- BELZILE, F., A. COUILLARD, G.A. TREMBLAY. Problématique générale de l'eau du bassin de la rivière des Outaouais, O.P.D.Q., 1974.
- BERARD, M., R. SAINT AMAND et al. Etude des ports du Québec. Vol. 5, Couverture aérienne des ports régionaux et des ports locaux de catégorie A.
- BERUBE, J.I. QIT-F et titane inc.: Programme décennal de dragage: étude d'impact sur l'environnement. Rapport final et résumé, 1987, 80 p.
- BOUDREAULT, R.F. La problématique des substances toxiques dans l'environnement. Tome 9. Le Saint-Laurent maritime et les toxiques, éléments de problématique. Québec, ministère de l'industrie et du Commerce; Services de protection de l'Environnement, Bureau d'étude sur les substances toxiques, 1979, 60 p.
- BOUDREAULT, P. Rapport technique, suivi de la rivière des Prairies. Environnement Québec, Rapport technique, 1986, 22 p.
- CAILLE, A., D. COUILLARD et al. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Cornwall-Varennnes. Synthèse des études de 1972-73. INRS-Eau, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 1974, 270 p.
- CAILLE, A. La problématique des substances toxiques dans l'environnement. Tome VIII. Les substances toxiques dans le fleuve Saint-Laurent. MENVIQ. Bureau d'étude sur les substances toxiques, 1980, 30 p.
- CAMOTIM, D. et M. FRENETTE. Hydro-Québec - Complexe Romaine - Evolution morphologique des estuaires des rivières Romaine et St-Jean, étude préliminaire.
- CARBALLADA, L. et D.L. NGUYEN. Simulation mathématique bidimensionnelle des courants dans le lac Saint-Louis. Montréal, Secrétariat, Archipel, 1982.
- CARON, M.L., G. SHOONER, L. BOISCLAIR, J. BOUDRAU, R. LALUMIERE. Dragage du bassin de mouillage du port de refuge de Sillery. Etude d'impact sur l'environnement. Québec, Yacht Club de Québec, 1983, 161 p.
- CARTER, D., P. CLIBBON, J. LLAMAS, J.L. VERRETTE. Analyse des applications du satellite ERTS à l'étude du Saint-Laurent, Cahier Centreau, 1973.

CARTER, D. et M. DROUIN. Dynamique des glaces le long des rives du Saint-Laurent. Canada, Projet d'étude des rives du Saint-Laurent, ministère des Travaux Publics, Montréal, 1973, 43 p.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Etude de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent. Tomes 1 et 2. Ste-Foy, 1971, 65 p.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Etude du fleuve Saint-Laurent. Aspects physiques et sédimentologiques entre Cornwall et Varennes. Volumes 1 et 2. 1973.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Recherches sur le fleuve Saint-Laurent (Rapport intérimaire). Environnement Canada, 1973.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Cornwall-Varennes. Aspects physiques et sédimentologiques (Rapport global). Environnement Canada, ministère des Transports - ministère des Richesses Naturelles, 1973, 138 p.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Varennes-Montmagny. Aspects physiques et sédimentologiques. Rapport général. 1974, 270 p. et annexes.

CENTREAU - UNIVERSITE LAVAL. Etude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles. Tome 1. Services de protection de l'Environnement 1975.

CESCAS, M. et A. PIERRE. A. Facteurs physico-chimiques les plus responsables de l'adsorption du phosphore par les sédiments du fleuve Saint-Laurent, Centreau, 1977.

CHAMPOUX, L., P. ROSS., V. JARRY et al. Libération par élutriation des contaminants des sédiments du Lac Saint-Louis (fleuve Saint-Laurent, Québec), Revue internationale des sciences de l'eau, 1986, vol. 2, no 4, p. 95-107.

CLUIS, D., D. COUILLARD, R. LAPOINTE, L. POTVIN,, A. ROUSSEAU J.L. SASSEVILLE, A. TESSIER. (1975). Etude du fleuve Saint-Laurent (tronçon Varennes-Montmagny) Synthèse des études 1973-74; INRS-EAU, Rapport scientifique, no 48, 141 p.

COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE ST-Laurent. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport du comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Québec, 1978, 293 p.

- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny. Volume 4, Québec, 1978, 391 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny. Volume 1. Québec, 1978, 298 p.
- CONSEIL DE LA QUALITE DE L'EAU DES GRANDS LACS. Lac Ontario. Etat et tendance. Qualité de l'eau. Rapport à la Commission mixte internationale. Rapport annuel 1985.
- CONSEIL DE LA QUALITE DE L'EAU DES GRANDS LACS. Rapport à la commission mixte internationale. Rapport de 1987 sur la qualité de l'eau des Grands lacs.
- COUILLARD, E.L.M. Etude des répercussions sur l'environnement marin du projet Ashland Oil Terminal. ENRS-Eau, 1973, 98 p.
- COUILLARD, M. Projet Mercure. Contamination de l'Environnement par l'usine de chlore-alcals C.I.L., Shawinigan. Québec, ministère de l'Environnement, Bureau d'étude sur les substances toxiques, 1980, 43 p.
- COUILLARD, Y., B. PINEL-ALLARD et al. Evaluation toxicologique, par élutriation des sédiments du lac Saint-Louis (fleuve Saint-Laurent, Qué.) à l'aide du Rotifère Brachionis Calyciflorus. Revue Internationale des Sciences de l'eau, vol. 2, no 3-4, 1987, pp. 83-94.
- DELISLE, C.L. Le mercure dans les écosystèmes aquatiques de la province de Québec, Canada. Canada, ministère de l'Environnement, Région de Québec, Congrès, 1977, 22 p.
- DELISLE, A. Y. DESCOTEAUX, DENIS. M. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Le fleuve Saint-Laurent et les sédiments en suspension. Les ateliers de gestion intégrée des ressources; Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, Québec, 1978.
- DELISLE, C.L., I. ZINGER et al. Répercussions écologiques des déversements de la neige usée dans le fleuve Saint-Laurent au niveau du pont de la Concorde et des quais 30 et 52 dans le port de Montréal: rapport final. Université de Montréal. Ecole polytechnique, Ville de Montréal, 1985, 225 p.
- DEMERS, R., C. COTE, C. MAISONNEUVE, A. CHORIJL. Dragage au quai de Lévis. Etude d'impact. Groupe Conseil Polytec- Inc. Sainte-Foy, 1983, 72 p.

- DESILETS, L., C. LANGLOIS, A. LAMARCHE, D. CLUIS. Tendances temporelles de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent (tronçon Cornwall-Québec) au cours de la période 1955 à 1986.
- DIONNE, J.C. Aspects morpho-sédimentologiques du glacié en particulier des côtes du Saint-Laurent, Canada. Ministère des Pêches et Forêts, Sainte-Foy, 1970, 324 p
- DIONNE, J.C. Bibliographie annotée sur les aspects géologiques du glacié, Québec, Environnement Canada, 1974, 122 p.
- DUPONT, N., M. GOULET. Elaboration d'un réseau d'acquisition de données environnementales en milieu aquatique sur les substances toxiques au Québec - une première au Canada. Québec, ministère des Richesses naturelles, Services de la qualité des eaux, 1979, 22 p.
- ECO-RECHERCHES (CANADA) INC. Evaluation de la qualité des sédiments du secteur de la jetée de Lachine et de la vieille centrale de Ville Lasalle. Services de protection de l'Environnement, 1985.
- ENVIROLAB. INC. Dragage du havre de Matane. Etude d'impact sur l'environnement. Rapport final. Québec, ministère des Transports, 1986, 109 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA-ONTARIO-QUEBEC. Qualité de l'eau de la rivière des Outaouais. Rapport annuel du comité de coordination pour la qualité des eaux de la rivière des Outaouais, 1985.
- ENVIRONNEMENT CANADA- TRANSPORTS CANADA ET ENVIRONNEMENT QUEBEC. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon lac Saint-Pierre-Montmagny. Etude planctonique et benthique du fleuve Saint-Laurent. Montréal, 1974, 164 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. Inventaire des connaissances sur les sources de pollution dans le fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-Sorel. Services de protection de l'Environnement, 1984.
- ENVIRONNEMENT CANADA. Mise au point de l'application de la méthode de centrifugation continue pour l'échantillonnage des solides en suspension et de la méthode de pompage à travers une colonne de résine absorbante pour l'échantillonnage de l'eau. Services des eaux intérieures, 1985.
- ENVIRONNEMENT CANADA. Technical supplement to the annual report of the coordinating committee for water quality in the Ottawa River, Water Quality Branch, Inland Waters Directorate.

- ENVIRONNEMENT-QUEBEC Guide de référence. Etude pour le choix d'une zone de dépôt pour les matériaux dragués, port de Becancour. Québec, 1981, 3 p.
- ENVIRONNEMENT-QUEBEC. Guide de référence pour l'élaboration de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de remplissage dans le lit du fleuve pour fin d'une chute à neige et d'accès au fleuve. Québec, 1981, 17 p.
- ENVIRONNEMENT-QUEBEC. Un premier bilan - synthèse 1988. L'environnement au Québec, 1988.
- FRENETTE, M. Fleuve Saint-Laurent - Ile d'Orléans. Appéciation du transport solide dans le bras nord. 1971. (document interne)
- FRENETTE, M. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Varennes-Montmagny. Programme d'étude du fleuve Saint-Laurent 1973-74. Sédimentologie du secteur Varennes-Montmagny. Centreau-C.E.F.S.L., 1973, 35 p.
- FRENETTE, M. et P. JULIEN. Intégration des phénomènes d'érosion et de la charge sédimentaire dans les modèles hydrologiques de qualité de l'eau. Symposium canadien d'hydrologie, Evolution de la qualité de l'eau dans le cycle hydrologique d'un bassin versant. Université Laval, 1984.
- FRENETTE, M. et P.Y. JULIEN. LAVSED-II, A model for predicting suspended load in northern streams, 1984.
- FRENETTE, M. et P. JULIEN. LAVSED-I, un modèle pour prédire l'érosion d'un bassin et le transfert de sédiments fins dans les cours d'eau, Revue de la Société canadienne de Génie civil, 1985.
- FRENETTE, M. et M. LARINIER. Some results of the sediment regime of the St. Lawrence river; Proceedings of the 9th Canadian hydrology Symposium of Fluvial Processes and Sedimentation, University of Alberta, Edmonton, 1973, p. 130-157.
- FRENETTE, M., M. LARINIER, J. PENEL. Etude sédimentologique du St-Laurent entre Cornwall et Varennes, chapitre VI, pp. 77 à 109 et 89 cartes, figures ou tableaux. "Aspects physiques et sédimentologiques du St-Laurent.
- FRENETTE, M, M. LARINIER, J. LLAMAS, J. Modèle de simulation du transport solide en suspension des rivières Chaudière et Chateauguay, Centreau, U.L., rapport CRE-74-05, mars 1974, 14 p. et illustrations.
- FRENETTE, M., J.-Ls VERRETTE, J.B. SERODES et al. Rapport général: Aspects physiques et sédimentologiques du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Montmagny, tomes I, II et III, mars 1974, 266 pages plus annexes A et B

- FRENETTE, M., J.-L VERRETTE. Environnement physique et dynamique du fleuve Saint-Laurent. Revue L'ingénieur-1, 1976, p. 13-24.
- FRENETTE, M., J.-L SASSEVILLE, J.B. SERODES. Aspects physiques, chimiques et biologiques des sédiments du fleuve Saint-Laurent. Conférence présentée au colloque sur le Saint-Laurent, novembre 1974, Québec.
- FRENETTE, M.L, A. TESSIER, J.L. SASSEVILLE, J.B. SERODES. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-Montmagny. Aspects physiques, chimiques et biologiques du Saint-Laurent, annexe cartographique, INRS-Eau, 1975, 35 p.
- GOLD, N.R. Pleistocene geology fo the Central St.Lawrence Lowland with selected passages from an unpublished manuscript the St.Lawrence Lowland by J.W. Goldwait. Canada, Geological Survey of Canada, 1971, 153 p.
- GENDRON, J.P., G.R. DECOTRET. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Cornwall-Varennnes. Inventaire des équipements en eau. Volume 2, territoire de la rive-sud de la région de Montréal. Québec, Services de protection de l'Environnement, 1973, 86 p.
- GERMAIN, A. Détermination des concentrations en pesticides organochlorés et biphényles polychlorés dans les sédiments en suspension et l'eau du fleuve Saint-Laurent. Environnement Canada, Direction des eaux intérieures, 1986.
- GERMAIN, A., M. JANSON. Qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Québec (1977-1981). Environnement Canada. Rapport.
- GERMAIN, A., C. LANGLOIS. Contamination des eaux et des sédiments en suspension du fleuve Saint-Laurent par les pesticides organochlorés et le biphényles polychlorés. Environnement Canada, Direction des eaux intérieures.
- GIDAS, N. Projet Archipel de Montréal. Etudes hydro-sédimentologiques en vue de la conception des ouvrages hydrauliques. Première étape. Connaissance globale et analyse du régime sédimentologique. Volume 1: problématique et résultat. Québec, ministère de l'Environnement, 1983, 332 p.
- GIDAS, N. Etude sur la sédimentation du chenal drainant le barachois. Québec, ministère de l'Environnement, 1983, 30 p.
- GIDAS, N. Etudes hydro-sédimentologiques en vue de la conception optimale des ouvrages hydrauliques. (Rapport final). Québec, ministère de l'Environnement, 1983.

- GIGUERE, J., P. ROSENBERG. Etude du fleuve Saint-Laurent. Rapport provisoire du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Québec, ministère de l'Environnement; Canada, ministère des Pêches et de l'Environnement, 1977, 167 p.
- GOUIN, D., S. BRISSON et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Qualité générale de l'eau à proximité des rives (1976). Québec, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 1978, 313 p.
- GOUIN, D., M. CLOUTIER, R. SEGUIN et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Caractérisation des apports, phase 1. Québec, Services de la protection de l'Environnement, Québec, ministère des Richesses naturelles, 1976, 455 p.
- GOULET, M., D. LALIBERTE (1982). Métaux: Contamination du milieu aquatique au Québec méridional, Services de la qualité des eaux, ministère de l'Environnement du Québec, 115 pages.
- GOYER, N. Vue d'ensemble sur les substances toxiques - plomb. Québec, ministère de l'Environnement, bureau d'étude sur les substances toxiques, 1980, 61 p.
- GREAT LAKES WATER QUALITY BOARD. Data Quality Assessment-Report of the Data Quality Work Group. Water Quality Programs Committee of the Great Lakes Water Quality Board, 1980.
- HAMBLIN, R.F. Upper St. Lawrence Estuary Circulation Study, 1986, Preliminary Analysis and Data Reports. N.W. R1 Contribution no 87-83. Dec. 1986.
- HAMBLIN, P.F., Boyce, F.M., Bull, J. et al. Reports to UGLCS Work Groups. NWR1 Contribution no 87-87. Nov. 1987. Environnement Canada.
- HAMBLIN, P.F., K.R. LUM, M.E. COMBA, K.L.E. KAISER. Observations of suspended sediment flux over a tidal cycle in the region of the turbidity maximum of the upper St. Lawrence River Estuary. National Water Research Institute. Burlington, Ontario.
- HAMELIN, R. Etude d'impact sur l'environnement: dragage du havre de Rimouski-est. Rapport final. Travaux publics Canada. 1981, 106 p.
- HAMELIN, R., Lacroix, P. Guide relatif au dragage et à l'élimination des sédiments contaminés dans le Saint-Laurent. Volume 1. Canada, ministère de l'Environnement. 1980, 303 p.
- HARGRAVE, B.T. Factors affecting the flux of organic matter to sediments in a marine bay. Bethic Dynamics Symposium, ed. K. Tenore and B.C. Coull., University of South Carolina Press, 1980, 143-263 (952).

- HAUSSER, R., Boulanger, F. Centrale nucléaire de Gentilly-2. Etude sur modèle du rejet d'eau chaude. Commission hydroélectrique du Québec. Montréal, 1974, 136 p.
- HEROUX, R. Etude des rives du Saint-Laurent. Morphologie sédimentologique, rive sud du Saint-Laurent, Longueuil - Lotbinière. Université Laval-Travaux publics Canada.
- HUBERDEAU, L. Problèmes d'échantillonnage sur deux types de fonds et structures d'une communauté benthique infralittorale dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Université de Montréal, 1980, 81 p.
- HUNT, C.D.; Fitzgerald, W.F. The capacity of marine plankton, macrophytes and particulate matter to absorb Co^{2+} in the presence of Mg^{2+} , Marine Chemistry, vol. 12 (1983), p.255-280.
- HYDRO-QUEBEC, Rapport synthèse des études de mélange des eaux en conditions actuelles. Service hydraulique - 1983.
- HYDRO-QUEBEC, Projet Archipel - Modélisation numérique du mélange des eaux dans le lac Saint-Louis. Service hydraulique.
- HYDROTECH INC. Projet Archipel - Etude des aspects hydro-sédimentologiques. Rapport d'étape no 1. Synthèse des données antérieures et intégration des campagnes de mesure de 1981. Hydro-Québec, Services hydrauliques 1982, 150 p.
- INGRAM, R.G., D'Anglejan, B., Lepage, S., Messier, D. Changes in current regime and turbidity in response to a freshwater pulse in the Eastmain R. estuary. Estuaries.
- JANSON, M. et SLOTERDIJK, H. Données sur la qualité des eaux, fleuve St-Laurent, Québec, 1950-1980. Direction générale des eaux intérieures; région de Québec", Environnement Canada, 1982, 159 p.
- JARRY, J., ROSS, P., CHAMPOUX, L., et al. Répartition spatiale des contaminants dans les sédiments du lac Saint-Louis (fleuve Saint-Laurent) 1985, 24 p. Université de Montréal, Illinois Natural History Survey, Environnement Canada -INRS-Eau.
- KAISER, L.E. KLAUS, OLIVER, BARRY, G. CHARLTON, MURRAY, N. NICOL, Karen. Polychlorinated Biphenyls in St. Lawrence River Sediments, Symposium international sur le devenir et les effets des produits chimiques toxiques dans les fleuves et leurs estuaires, 10-14 octobre 1988, Québec, Canada.

- KAUSS, P.B., HAMDY, Y.S., HAMMA, B.S. Background: assessment of water, sediment andin the Cornwall, Ontario and Massena, New York section of the St. Lawrence River 1979-1982. Volume 1, February 1988, Ministry of the Environment, Ontario.
- KAY, S. et BENERS, J.M., 1984 Distribution and bioavailability of heavy metals in the marine environment. In Health of the Northwest Atlantic (A report of the Interdepartmental Committee on Environmental Issues): Eds. R.C.N. Wilson and R.E. Addison. Department of the Environment/ Department of Fisheries and Ocean/ Department of Energy, Mines and Resources: 121-137.
- KORAB LTEE, Etude de la qualité de l'eau pour analyse continue. Etude du fleuve, tronçon Cornwall - Montmagny, mars 1974.
- KRANCK, Kate. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary. Le Naturaliste Canadien, vol. 106, no. 1, 1979, p. 163-173.
- KRANCK, Kate. Particulate matter grain-size characteristics and flocculation in a partially mixed estuary. Sedimentology, (1981), vol. 28, p. 107-114.
- KRANCK, K., 1980. Experiments on the significance of flocculation in the settling of fine - grained sediment in still water. Canadian Journal of Earth Sciences 17: 1517-1526.
- KUNTZ, K.W. Contaminants dans les sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent en juin 1975. Etude no 147, collection des rapports techniques. Direction générale des eaux intérieures. Burlington (Ontario) 1988.
- LABORATOIRE DE GENIE SANITAIRE DU QUEBEC INC. Port de refuge parc nautique Levy-Ville de Lévis, Sainte-Foy, 1983, 113 p.
- LACROIX, P. et HAMELIN, R. Etude des répercussions environnementales de l'extension du port de Québec. Enoncé des incidences environnementales. Aspects biophysiques. Roche & Ass. Ltée - 1983, 376 p.
- LACROIX, G., THERIAULT, J.C., OUELLET, Y. Projet Cap-Brulé. Evaluation des salissures marines, variations de la salinité, importance de la turbidité, étude complémentaires. Université Laval, 1973, 49 p.
- LAGACE, M., PAGEAU, G., DUBE, J. Milieux bio-chimiques, frayères, végétation et invertébrés des sites des travaux de régularisation des eaux, région de Montréal, vol. 2 - Québec, ministère du Tourisme de la chasse et de la pêche, 1977, 425 p.

- LAGACE, M., PAGEAN, G., DUBE, J. Milieux bio-physiques, frayères, végétation et invertébrés des sites des travaux de régularisation des eaux, région de Montréal, vol. 1. Québec 1978, 216 p.
- LALONDE GIROUARD LETENDRE ET ASS. LTEE. Etude sur la contamination toxique des sédiments aux exutoires du lac des Deux-Montagnes. Rapport - phase I et II. Secrétariat Archipel. 1985.
- LALONDE VALOIS LAMARRE VALOIS ET ASS. INC. Etude du fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-Montmagny. Inventaire des équipements en eau et relevés industriels, vol 3 et 4. Municipalités de la Communauté urbaine de Québec, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 1974.
- LALONDE VALOIS LAMARRE VALOIS ET ASS. INC. Québec, ministère des Richesses naturelles, Etude d'aménagement de la ressource eau, région de Montréal. Etude des contraintes en période de basses eaux, vol. I, rapport final, vol. 2 annexes - 1976.
- LANGLOIS, C. et SLOTERDIJK, H. Contamination du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent) par certains polluants organiques et inorganiques. Environnement Canada. Conférence Aussoie, France, 1988.
- LÂNDRETTE, J.G. Plan d'aménagement pour la sauvagine, renseignements à obtenir pour l'évaluation des répercussions environnementales de petits projets d'aménagement d'habitats à sauvagines (2 volumes). Ministère Tourisme, Chasse et Pêche, Québec. Services de la protection de l'Environnement, 1979.
- LAVALLEE, P. et RICHARD, F. Evaluation des impacts du déversement des eaux usées brutes provenant de l'intercepteur nord de la C.U.M. au site de l'émissaire ouest dans le fleuve Saint-Laurent, mars 1983.
- LEVY, E.M., 1983. Background levels of volatile hydrocarbons and petroleum residues in the waters and sediments of the Grand Banks. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 40 (supplement 2): 23-33.
- LEVY, E.M. Background levels of dissolved/dispersed petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence, 1970-1979. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, vol. 42, p. 544-555.
- LLAMAS, J., GALPASORO, A. et al, Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Varennes-Montmagny. Hydrologie du bassin, rapport général. 1974. Centreau, 1974, 175 p.

- LLAMAS, J. et POULIN, R. Simulation des débits de crue à Montréal. Centreau, 1977, 51 p.
- LLAMAS, J. et THIBOUTET, J.P. Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du Saint-Laurent. Université Laval; Hydro-Québec. Centreau, 1977, 40 p.
- LONG, B.F. et BOUCHARD, D. Etude des variations de la charge solide du fleuve Saint-Laurent entre Trois-Rivières et Gentilly, Québec. Rapport final, GREa, Université du Québec à Trois-Rivières, 72 p.
- LONG, B.F., MORISSETTE, M. et LEVEL, J. (1982). Etudes du matériel particulaire en suspension et du matériel dissous des rivières Romaine et St-Jean durant un cycle saisonnier. Rapport final; Institut National de Recherches Scientifiques en Océanologie pour Hydro-Québec, 119 p.
- LORING, D.M. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium, and vanadium in the sediments of the estuary and open Gulf of St. Lawrence. Can. J. Earth Sci., vol. 16, 1979, p. 1196-1209.
- LORING, D.M. Potential biovariability of metals in eastern canadian estuaire and coastal sediments, rapp. P.v. Rém. Cons. int. Explor. Mes, 181, 93-101, 1981.
- LORING, D.M. Geochemical factors controlling the accumulation and dispersal of heavy metals in the Bay of Fundy sediments. Canadian Journal of Earth Sciences 19; 1982, pp. 930-944.
- LORING, D.M. Trace-metal geochemistry of sediments from Baffin Bay, Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 21, 1984, p. 1368-1378.
- LORING, D.M., RANTALA, R.T.T., SMITH, J.N., 1983. Response time of Saguenay Fjord sediments to metal concentration. Environmental Biochemistry and Ecology, Bulletin 35: 59-72.
- LORING, D.M., RANTALA, T.T. Chemical composition of suspended particles in an estuarian turbidity maximum zone, Can. J. Fish. Aquat. Sci. vol. 40 (suppl. 1), 1983.
- LUCOTTE, M. 1987. The Geochemistry of phosphorus in the Saint Lawrence upper estuary. Thèse de doctorat, Université McGill.
- LUCOTTE, M., D'ANGLEJAN, B., 1986. Seasonnal control of the Saint Lawrence maximum turbidity zone by tidal-flat sedimentation. Estuaries, 9: 84-94.

- LUM, K.R. Cedmium in fresh waters: The Great Lakes and St. Lawrence River, 1987.
- LUM, K.A., KAISER, L.E. Organic and inorganic contaminants in the St. Lawrence River: some preliminary results on their distribution. Water Pollution Research Journal of Canada. Vol. 21, no 4, 1986, p. 592-603.
- LUM, K.R., KAISER, K.L., COMBA, M.E. Export of mirex from lake Ontario to the St. Lawrence estuary. The science of the total environment, 64 (1987), p. 41-51.
- LUM, K.R., KAISER, K.L.E., JASKOT, C. Distribution and fluxes of metal in the St. Lawrence river from the outflow of lake Ontario to Quebec city, Symposium international sur le devenir et les effets des produits chimiques toxiques dans les fleuves et leurs estuaires, 10-14 octobre 1988, Québec, Canada.
- MACKENZIE, A.F., MANSON, A.N., CURRY, P.D. Some chemical analysis of the water quality of the Ottawa and Saint Lawrence Rivers - 1971. Rapport Montréal. McGill University, 1971 - 15 p.
- MALO, D., BRISSON, S. et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Evaluation des bilans (1976). Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport technique no 37, 1978, 123 p.
- MALO, D., S. BRISSON et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Caractérisation des apports. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport technique no 14, 1978, 332 p.
- MALO, D., S. BRISSON et al. Etude sur le fleuve Saint-Laurent. Incidences des rejets industriels et municipaux, tomes 1 et 2. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport technique no 12, 1978, 437 p.
- ANDRE MARSAN ET ASS. Projet Archipel: étude de faisabilité: rapport technique no 4, évaluation des effets sur l'environnement: annexe 2: Qualité de l'eau. Secrétariat, ministère des Affaires municipales, 1986, 268 p.
- MERIC, P. Circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et son influence sur les processus sédimentaires. Centreau, 1975, 68 p.
- MERRIMAN, J.C. Contaminants organiques à l'état de traces dans des sédiments du secteur international du fleuve Saint-Laurent, 1981. Etude no 148, collection des rapports techniques. Environnement Canada. Direction générale des eaux intérieures. Région de l'Ontario, 1987.

- MERRIMAN, J.C. Bottom sediment quality of the Ottawa River. Technical Bulletin no 153. Environment Canada. Burlington, Ontario, 1987.
- MERRIMAN, J.C., R.C. McCREA. Trace organic contaminants in the Ottawa River, National Capital Region, 1980. Technical Bulletin no 136, Environment Canada, Burlington, Ontario, 1985.
- MERRIMAN, J.C., J.L. METCALFE. Pesticide distribution Lower Ottawa River, 1986. Technical Bulletin no 160, Burlington, Ontario, 1988.
- MILLER, D.R., D.C. MARTINES et al. Ottawa river project. Distribution and transport of pollutants in flowing water ecosystems. Canada, National Research Council, University of Ottawa, Rapport 1976, 631 p.
- MINISTERE DES PECHEES ET ENVIRONNEMENT. Disposition des résidus de dragage dans le Saint-Laurent, Canada, Direction des eaux intérieures, 1977, 29 p.
- MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES. Comité sur la régularisation des eaux. Région de Montréal. Rapport final, 1976.
- MUDROCH, A. S.R. JOSHI. Geochemistry and distribution of metals in radiodated sediment cores from lake St.Louis, St. Lawrence River.
- MUDROCK, A., G.A. DUNCAN. Distribution of metals in different size fractions of sediment from the Niagara River, National Water Research Institute, 1985.
- MUDROCK, A., L. SARAZIN, J. LLAMAS. Report of the progress of the revision of the MOE for dredged natural open water disposal 1984/85, Ontario, ministry of the Environment.
- ONTARIO, MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. Concentration of Mercury in sediments and fish in the Saint-Lawrence River. 1979, 94 p.
- OUELLET, M. Géochimie et granulométrie des sédiments superficiels du lac St. Jean et de la rivière Saguenay, INRS-eau, Rapport scientifique no 104, 209 p.
- OUELLET, Y. Etude des rives du Saint-Laurent, Etude sur le battillage à Champlain. Université Laval, Canada, ministère des travaux publics, 1973, 296 p.

- PAUL, M., D. LALIBERTE ET M. GOULET. Réseau de surveillance des substances toxiques 1980: Pesticides organochlorés dans le milieu aquatique du Québec méridional, Service de la qualité des eaux ministère de l'environnement du Québec, 69 p.
- PAUL, M., D. LALIBERTE. Teneurs en BPC, pesticides organochlorés, composés phénoliques et HAP des poissons et des sédiments du bassin versant de la rivière des Outaouais en 1985. Québec, ministère de l'Environnement, Réseau de surveillance des substances toxiques.
- PAUL, M., D. LALIBERTE. Réseau de surveillance des substances toxiques 1983: contamination par le mercure des poissons et des sédiments de six bassins versants du Québec méridional. Environnement Québec, 1985, 67 p.
- PAUL, M., D. LALIBERTE. Réseau de surveillance des substances toxiques 1981: contamination du milieu aquatique du Québec méridional par sept métaux lourds. Québec, ministère de l'Environnement, 1985, 107 p.
- PAUL, M. ET D. LALIBERTE. Teneurs en mercure, plomb, cadmium, BPC et pesticides organochlorés des sédiments et de la chair de poissons du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais en 1985. Environnement Québec, 1986, 97 p.
- PLURAM INC. Port de Montréal. Extension du terminal à conteneurs TASK. Etude d'impact sur l'Environnement. Rapport final, 1981, 95 p.
- PLURAM INC. Aménagement d'un quai pour fins récréatives et déversement occasionnel de neige dans le fleuve Saint-Laurent, Ville de Montréal, 1981, 109 p.
- POCKLINGTON, R. Carbon transport in major world rivers: The St. Lawrence, Canada. Mitteilngen aus dem Geologisch-Palaontologischen Institut der Universitat Hamburg, 1982.
- POCKLINGTON, R. AND S. KEMPE. A comparison of methods for POC determination in the St. Lawrence River. Mitteilungen aus dem Geologisch-Paleontogischen Institute der Universitaet, Hamburg.
- POULET, S.A., E. BOURGET et al. Système de transport des hydrocarbures, Bas Saint-Laurent, Montréal. Lavalin, INRS-océanologie, Montréal, 1976, 97 p.
- QUEBEC REGIE DES EAUX - ONTARIO COMMISSION DES RESSOURCES D'EAU. Etude du bassin de la rivière Outaouais, Rapport progressif, Québec, 1969, 13 p.

- ROCHE ET ASS. LTEE. Etude sur les effets de la diffusion ds eaux usées sur le fleuve Saint-Laurent - Tome I. Avril 1983.
- ROCHE ET ASS. LTEE. Projet de port de refuge de Cap-à-l'Aigle, Etude d'impact sur l'environnement. Corporation du port de refuge de Cap-à-l'Aigle, 1983, 158 p.
- ROCHON, G.J., J. LLAMAS, et al. Analyse des applications du satellite ERTS à l'étude du Saint-Laurent. Centreau, rapport 73/05, 1973, 105 p.
- ROCHON, R. Problématique des activités de dragage: revue de la situation et des méthodes et détermination des secteurs de recherches prioritaires pour le Saint-Laurent. Canada, ministère de l'Environnement, Montréal, 1984, 82 p.
- SARGAL, B.P. Caractéristiques du débit de base de cours d'eau ontarien. Rapport no 132 de l'INRCH. Etude no 132, collection des rapports techniques de la DGEI, Ottawa, Canada, 1984.
- SERODES, J.B. Les sédiments , le fond du problème.. Revue L'Ingénieur, mai/juin 1976, p. 0-15.
- SERODES, J.B., D. LABONTE, D. Etude sur le fleuve Saint-laurent, Qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-laurent entre Cornwall et Montmagny. Environnement Canada-Comité d'étude sur le fleuve Saint-laurent. Rapport technique no 15, 1978, 467 p.
- SERODES, J.P., M. LAMONTAGNE et al. Projet de restauration du lac Saint-jean contaminé par le mercure. Canada, ministère des Pêches et de l'Environnement, Québec, bureau d'étude sur les substances toxiques, 1978, 03 p.
- SERODES, J.B., A. SOUCY. Etude de la qualité des eaux du fleuve Saint-laurent entre Cap-Rouge et Pointe Deschambault, Centreau, rapport 75-12, Québec, 1975, 34 p.
- SERODES, J.B., A. SOUCY, M. BOIVIN. Etude de la qualité de l'eau brute à l'usine de traitement d'eau de Saint-Foy. Centreau, rapport 75-13, Québec, 1975, 38 p.
- SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DU QUEBEC. Les apports, phase 1. Direction de la connaissance de la qualité du milieu, 1976.
- SILVERBURG, N., B. SUNDBY. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence estuary. Can. J. Earth Sci., vol. 16, p. 939-950, 1979.

- SLOTTERDIJK, H. Substances toxiques dans les sédiments du lac Saint-François, fleuve Saint-Laurent, Québec. Environnement Canada, DGEI, Région du Québec, 1985.
- SLOTTERDIJK, H. Mercury, PCB's organochlorinated pesticides, chlorobenzenes, pentachlorophénol and PBB's in superficial sediments of lake St. Francis (Lac Saint-François) of the St. Lawrence River system, 1988, 1988, Région de Québec.
- SLOTTERDIJK, H. Le lac Saint-François, baromètre de la pollution transfrontalière provenant du lac Ontario et du secteur international, dans le tronçon québécois du fleuve Saint-Laurent. Troisième colloque sur les substances toxiques, Montréal, 1988. Environnement Canada, Direction des eaux intérieures, Longueuil.
- SOGEAM CONSULTANTS. Relevés hydro-sédimentologiques complémentaires: lac des Deux-Montagnes et rivière des Milles-Iles, Secrétariat Archipel, sept. 1984.
- SOUCY, A., C. BARBEAU et al. Etude du fleuve Saint-Laurent. Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles, Tome 1. Centreau, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, 1975, 154 p.
- SOUCY, A., C. BARBEAU et al. Etude du fleuve Saint-Laurent. Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles. Section II, Résultats des analyses et étude des corrélations, Tome 2. Centreau; Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, Rapport 75/14, 1975.
- SOUCY, A., B. SAMSON et al. Aménagement du bras nord du Saint-Laurent (Ile d'Orléans). Phase 1. Etude du milieu, potentialités et contraintes. Centreau, 1977.
- SOUCY, A., M. FRENETTE, J.L. VERRETTE, J. CERCEAU, F. LEMIRE et al. Etude du fleuve Saint-Laurent, Tronçon Varennes-Montmagny. Aspects physique et sédimentologiques. Rapport général, Tome 1. Centreau, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. 1974, 265 p.
- SOUCY, A., M. FRENETTE, J.L. VERRETTE, O. GUBELI, J. LLAMAS, J.C. ROY, J.B. SERODES, M.P. CESCAS et al. Etude du fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-Varennes. Aspects physiques et sédimentologiques. Québec, Centreau, 1973, 138 p.

- SURVEYER, NENNIGER ET CHENEVERT INC. Etude du fleuve Saint-Laurent, tronçon Cornwall-Montmagny. Study of Saint-Lawrence River, Cornwall-Varenes section. Hydrodynamic and water simulation model. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, Régie des eaux du Québec, 1973, 161 p.
- SYLVESTRE, A. Les organochlorés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île Wolfe, 1982 à 1987. Environnement Canada, Etude no 144, Collection des rapports techniques, DGEI, Burlington, Ontario, 1987.
- THOMAS, R.L., J.E. GANN, J.H. HARTIG. Contaminants in lake Ontario - a case study. Tiré de "Source, fate and control of toxic contaminants", Proceedings of a technical session of the World Conference on large lakes, 1986, Michigan, Lewis Publishers.
- TRANSPORT CANADA. Sediment discharge at Les Grèves section; St. Lawrence ship channel division report, 1970.
- TRANSPORT CANADA. Sediment discharge of Les Grèves et chenal aux Corbeaux sections; St. Lawrence ship channel Division Report.
- TROUDE, J.P.; J.B. SERODES, B. ELOUARD. Etude des mécanismes sédimentologiques des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cas de la batture de la Pointe aux Prêtres, batture de Cap-Tourmente. Université Laval, Environnement Canada, Sainte-Foy, 1983, 85 p.
- VERRETTE, J.L., AUBERT. Diffusion des effluents dans le fleuve Saint-Laurent, Centreau, 1977.
- VERRETTE, J.L., M. FRENETTE. Centrale nucléaire de Gentilly: localisation de la prise d'eau: étude des aspects hydrosédimentologiques du Saint-Laurent. Hydrotech 1980 pour Hydro-Québec.
- VERRETTE, J.L. et M. FRENETTE et al. Inventaire des travaux de dragage du Saint-Laurent en amont de Gentilly, Hydro-Québec, février 1981.
- VERRETTE, J.L., M. FRENETTE, T.T. QUACH. Etude des aspects hydrosédimentologiques reliés au choix de l'emplacement de la prise d'eau de la centrale Gentilly 3., revue L'Ingénieur, 1982.
- VERRETTE, J.L., F. LEMIRE. Etude de la diffusion et des régimes hydrodynamique et thermique du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Montmagny. Rapport Centreau, 1974.

- VERRETTE, J.L., S. ROBITAILLE. Etude de la diffusion et des régimes hydrodynamiques et thermique du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Varennes. Rapport Centreau, 1973.
- VERRETTE, J.L., S. ROBITAILLE. Etude du mélange des eaux du Saint-Maurice et du Saint-Laurent. Congrès ACFAS, mai 1974, Québec.
- VIEL, M. Le mercure dans les sédiments du Saint-Laurent. Université Laval, thèse, 1975, 178 p.
- WESTERLUND, S.F.G., ANDERSON, L.G. et al. Benthic Fluxes of cadmium, nickel, zinc and lead in the coastal environment, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 50, pp. 1289-1296.
- WILKINS, W.D., 1988. Sediment quality of the St. Lawrence River near Maitland, 1984, *St. Lawrence River Environmental Investigations*, vol. 3.
- YEATS, P.A., J.M. BEWERS. Discharge of metals from the St. Lawrence River, *Can. J. Earth Sci.*, vol. 19, 1982, pp. 982-992.
- YEATS, P.A. J.M. BEWERS. Potential anthropogenic influences on trace metal distribution in the North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40 (supplement 2): 124-131, 1983.
- ZIMMERMAN, S., D. GREEN, et al. Carte du fleuve Saint-Laurent intoxiqué. Société pour vaincre la pollution, Montréal, 1984, 16 p.
- ZINGER, I. Qualité des neiges usées et impacts de leurs déversements dans la région du port de Montréal. Ecole polytechnique. Mémoire 1985, 81 p.

Annexe I

***Données contenues dans une fiche sédimentologique
(Rivière Chaudière)***

RIVIERE CHAUDIERE

NUMERO DE STATION HYDROLOGIQUE:

023402

BASSIN VERSANT DE CETTE STATION (0 POUR NE PAS TENIR COMPTE DES BASSINS):

5820

BASSIN VERSANT A L'EMBOUCHURE:

6692.24

Y A-T-IL UNE COUPURE DANS VOTRE RELATION Qs VS QL (O/N) ?

O

VALEUR DU DEBIT A LA COUPURE (m3/s):

99.4

TYPE DE RELATION AVANT COUPURE :R=REGRESSION, C=VALEUR MOYENNE DE CONCENTRATION.

R

* PREMIERE RELATION *

EQUATION $Q_s = a \cdot Q_l^b$.

VALEUR DU COEFFICIENT a:

.22467

VALEUR DU COEFFICIENT b:

1.4436

* DEUXIEME RELATION *

EQUATION $Q_s = a \cdot Q_l^b$.

VALEUR DU COEFFICIENT a:

.054087

VALEUR DU COEFFICIENT b:

1.8108

STATION HYDROLOGIQUE 023402

EN 1968

Qs TOTAL ANNUEL= 0.213E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.583E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.138E+05 tonnes/d, LE 30/ 3.

Qs MIN = 0.631E+01 tonnes/d, LE 19/ 8.

EN 1969

Qs TOTAL ANNUEL= 0.478E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.131E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.412E+05 tonnes/d, LE 18/ 4.

Qs MIN = 0.164E+02 tonnes/d, LE 28/ 7.

EN 1970

Qs TOTAL ANNUEL= 0.372E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.102E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.278E+05 tonnes/d, LE 19/ 4.

Qs MIN = 0.256E+01 tonnes/d, LE 17/ 8.

EN 1971

Qs TOTAL ANNUEL= 0.326E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.893E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.241E+05 tonnes/d, LE 22/ 4.

Qs MIN = 0.856E+01 tonnes/d, LE 6/ 2.

EN 1972

Qs TOTAL ANNUEL= 0.452E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.124E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.294E+05 tonnes/d, LE 5/ 5.

Qs MIN = 0.823E+01 tonnes/d, LE 13/ 2.

EN 1973

Qs TOTAL ANNUEL= 0.428E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.117E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.149E+05 tonnes/d, LE 24/ 4.

Qs MIN = 0.728E+01 tonnes/d, LE 26/ 7.

EN 1974

Qs TOTAL ANNUEL= 0.512E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.140E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.431E+05 tonnes/d, LE 30/ 4.

Qs MIN = 0.111E+02 tonnes/d, LE 11/10.

EN 1975

Qs TOTAL ANNUEL= 0.291E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.798E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.274E+05 tonnes/d, LE 21/ 4.

Qs MIN = 0.287E+01 tonnes/d, LE 21/ 8.

EN 1976

Qs TOTAL ANNUEL= 0.584E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.159E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.368E+05 tonnes/d, LE 11/ 8.

Qs MIN = 0.922E+01 tonnes/d, LE 25/ 1.

EN 1977

Qs TOTAL ANNUEL= 0.355E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.972E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.187E+05 tonnes/d, LE 1/ 4.

Qs MIN = 0.691E+01 tonnes/d, LE 26/ 2.

EN 1978

Qs TOTAL ANNUEL= 0.288E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.790E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.200E+05 tonnes/d, LE 21/ 4.

Qs MIN = 0.161E+01 tonnes/d, LE 27/ 8.

EN 1979

Qs TOTAL ANNUEL= 0.332E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.909E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.306E+05 tonnes/d, LE 26/ 3.

Qs MIN = 0.280E+01 tonnes/d, LE 2/ 8.

EN 1980

Qs TOTAL ANNUEL= 0.109E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.299E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.661E+04 tonnes/d, LE 11/ 4.

Qs MIN = 0.487E+01 tonnes/d, LE 16/ 3.

EN 1981

Qs TOTAL ANNUEL= 0.352E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.963E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.278E+05 tonnes/d, LE 25/ 9.

Qs MIN = 0.956E+01 tonnes/d, LE 31/ 1.

EN 1982

Qs TOTAL ANNUEL= 0.401E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.110E+04 tonnes/d.

Qs MAX = 0.412E+05 tonnes/d, LE 19/ 4.

Qs MIN = 0.485E+01 tonnes/d, LE 19/ 8.

EN 1983

Qs TOTAL ANNUEL= 0.293E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.803E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.157E+05 tonnes/d, LE 26/ 4.

Qs MIN = 0.340E+01 tonnes/d, LE 29/ 8.

EN 1984

Qs TOTAL ANNUEL= 0.299E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.818E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.154E+05 tonnes/d, LE 1/ 6.

Qs MIN = 0.704E+01 tonnes/d, LE 16/ 9.

EN 1985

Qs TOTAL ANNUEL= 0.201E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.551E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.210E+05 tonnes/d, LE 17/ 4.

Qs MIN = 0.610E+01 tonnes/d, LE 25/ 8.

EN 1986

Qs TOTAL ANNUEL= 0.323E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.884E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.302E+05 tonnes/d, LE 1/ 4.

Qs MIN = 0.169E+02 tonnes/d, LE 23/ 6.

EN 1987

Qs TOTAL ANNUEL= 0.226E+06 tonnes.

Qs MOYEN = 0.828E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.580E+05 tonnes/d, LE 1/ 4.

Qs MIN = 0.361E+01 tonnes/d, LE 8/ 9.

SUR 20 ANNEES DE DONNEES,

Qs MOYEN INTERANNUEL = 0.342E+06 tonnes/annee.

Qs ANNUEL MAX = 0.584E+06 tonnes, EN 1976.

Qs MOYEN = 0.948E+03 tonnes/d.

Qs MAX = 0.580E+05 tonnes/d, LE 1/ 4/1987.

Qs MIN = 0.161E+01 tonnes/d, LE 27/ 8/1978.

* DEGRADATION SPECIFIQUE DE 51.07 tonnes/an/km2.

--> POSITION DE LA COUPURE A 29.54 %.

-AVANT COUPURE, 4.32% DE QS_CUM,

-APRES COUPURE, 95.68% DE QS_CUM.

FORTTRAN STOP

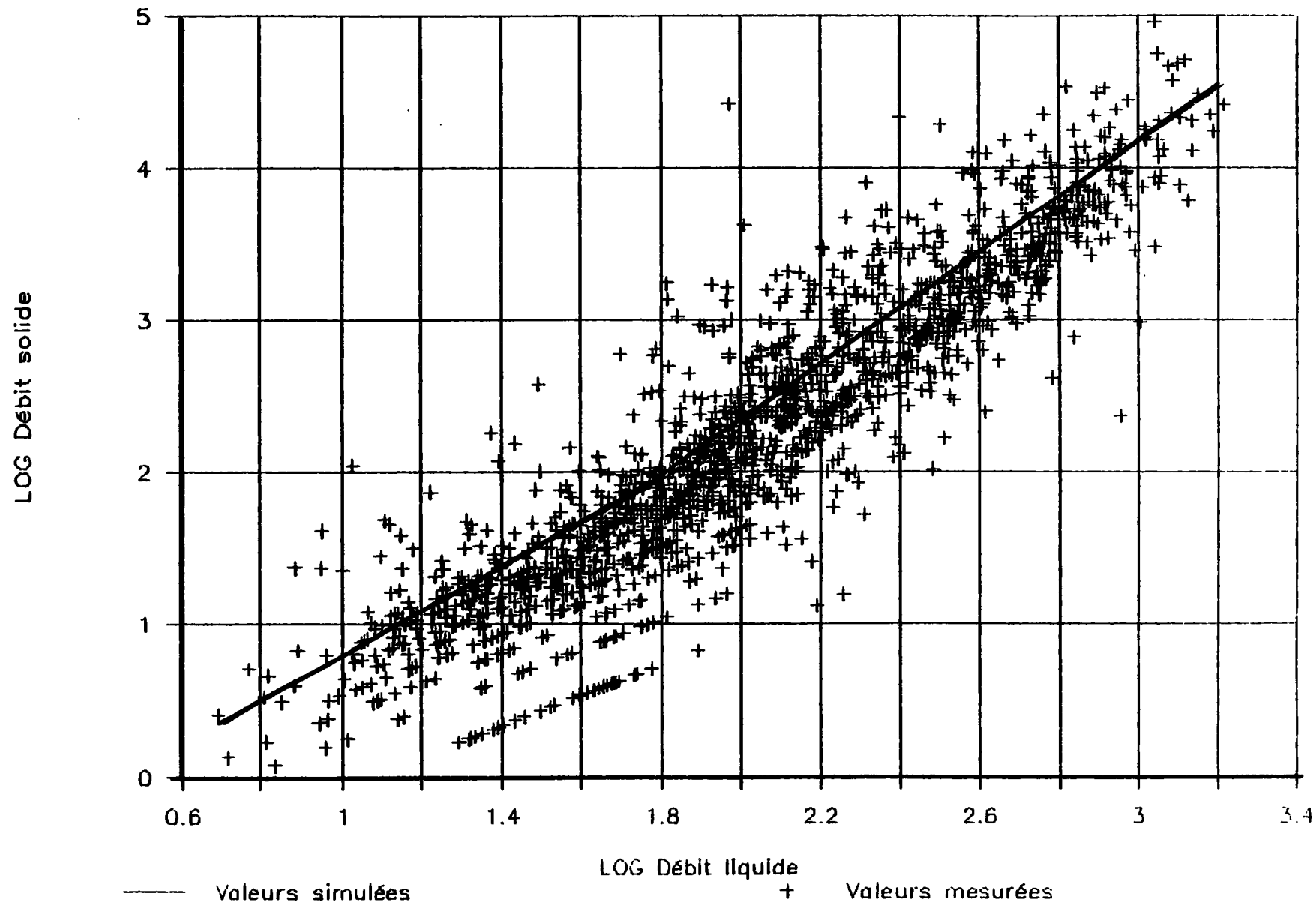
FORTTRAN STOP

***Relations entre la concentration en solides
et le débit liquide dans le Saint-Laurent à Montréal***

Annexe II

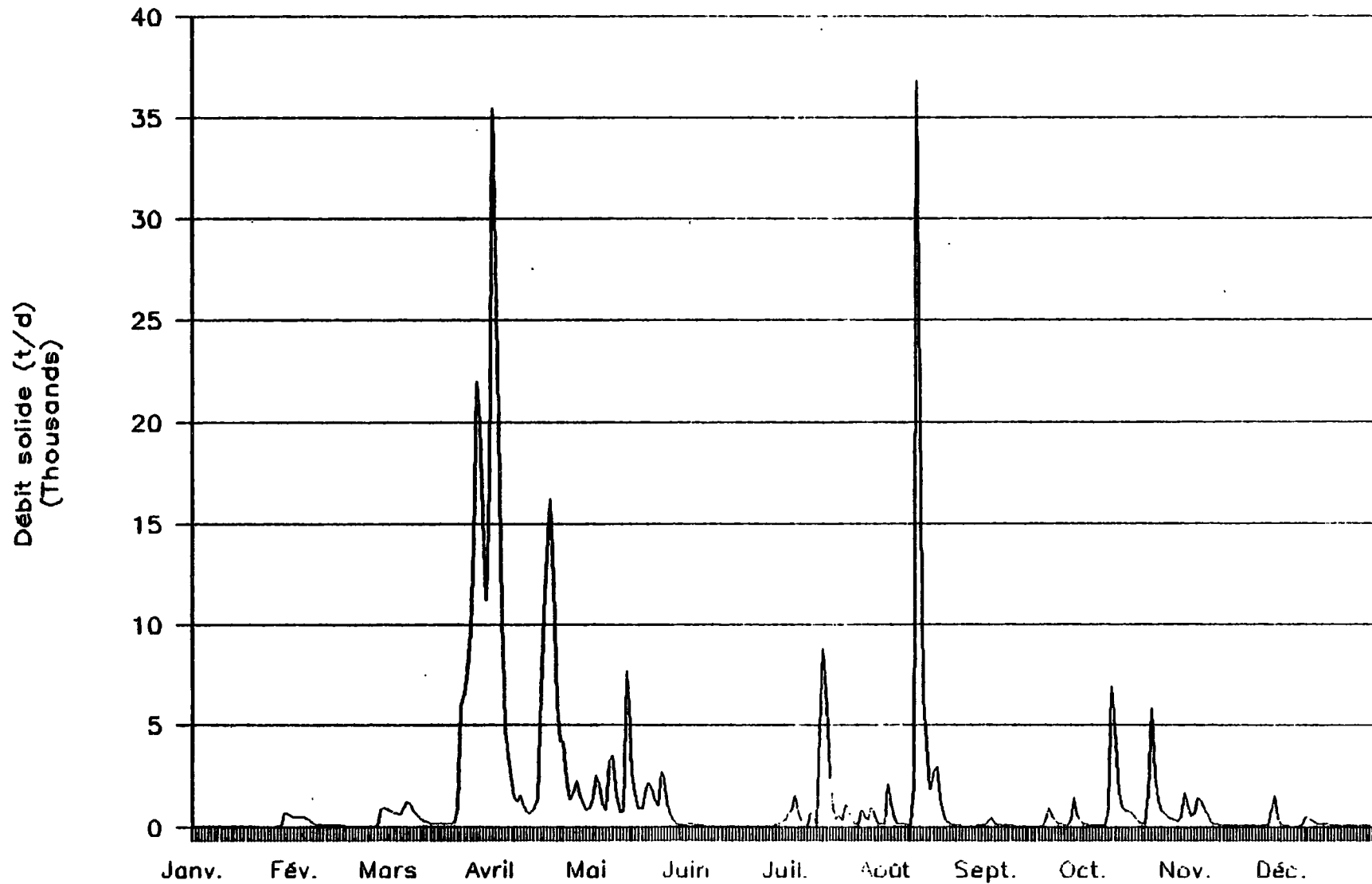
DEBIT SOLIDE versus DEBIT LIQUIDE

RIVIERE CHAUDIERE



Sédimentogramme

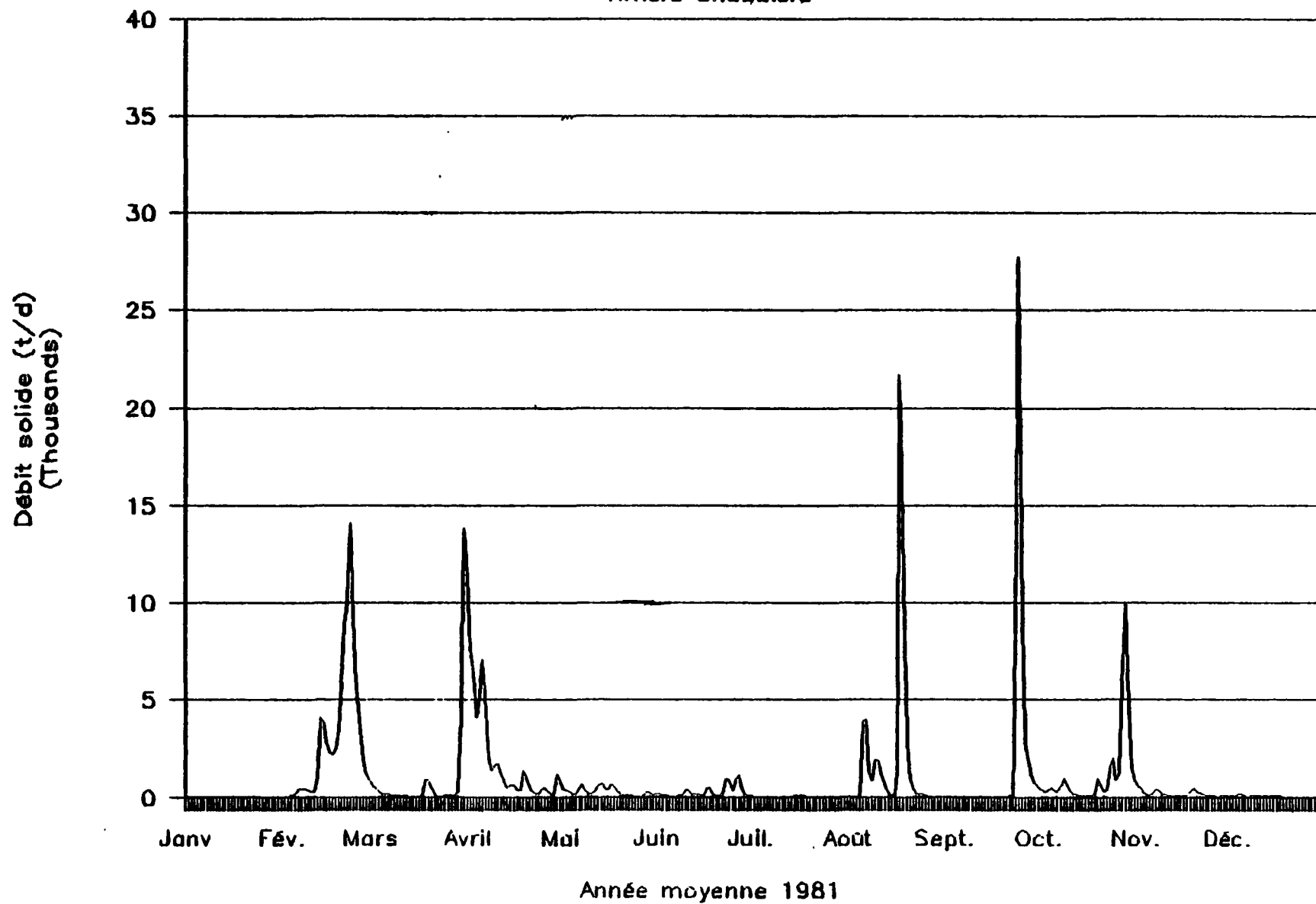
Rivière Chaudière



Année maximale 1976

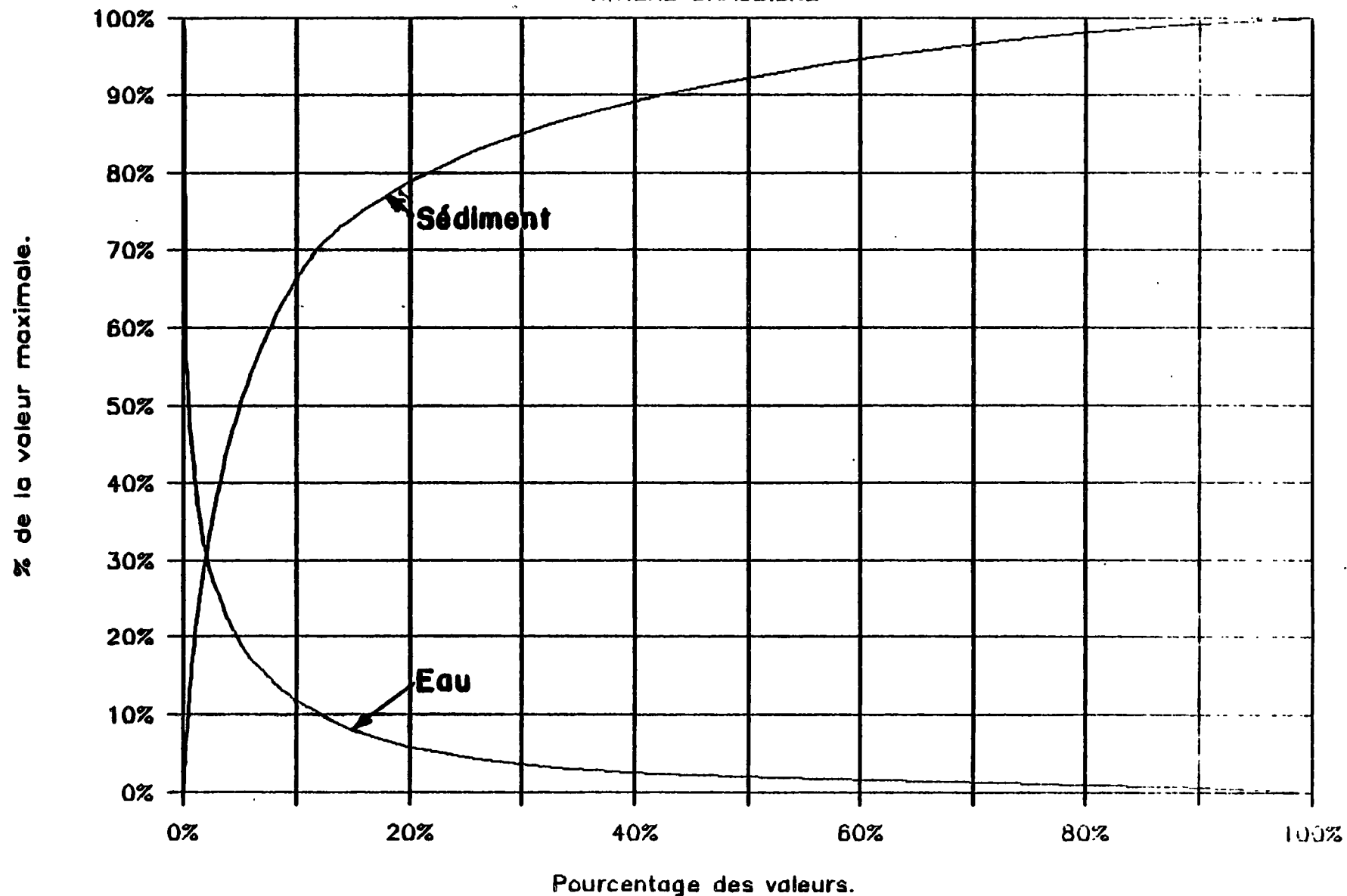
Sédimentogramme

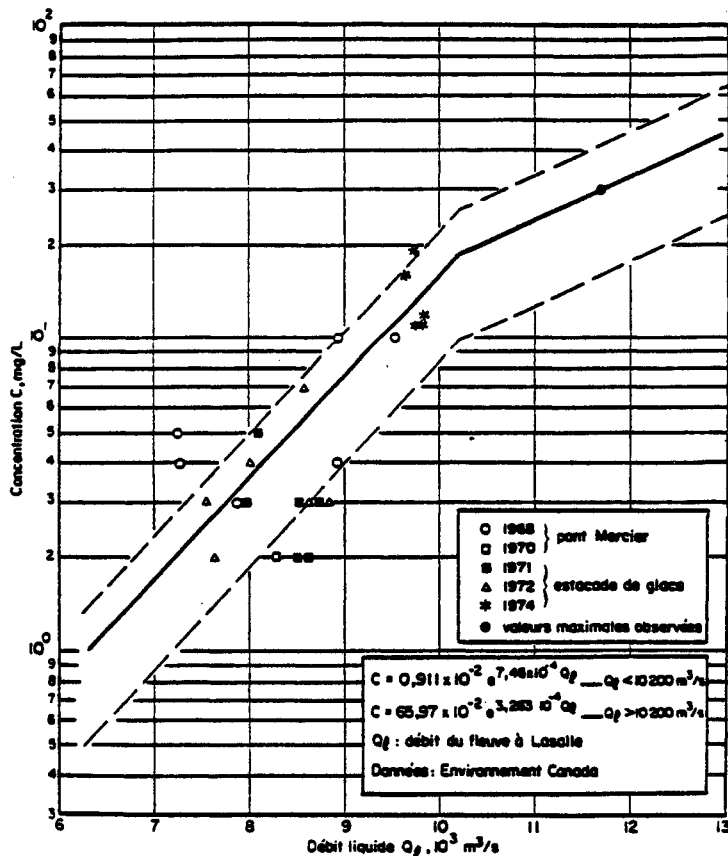
Rivière Chaudière



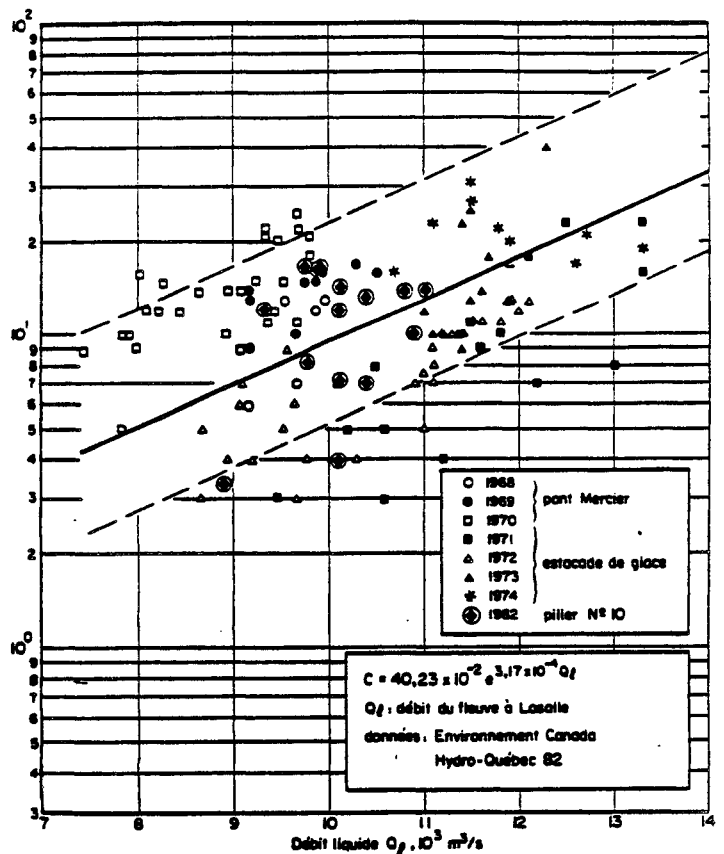
COURBE QL CLASSES VS QS CUMULES.

RIVIERE CHAUDIERE

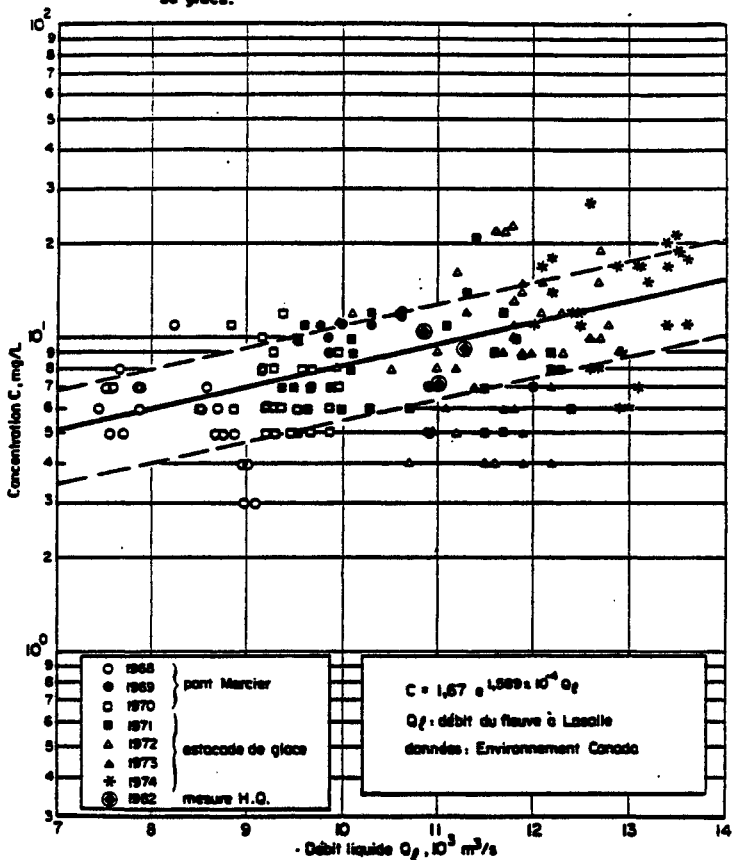




— Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2%, janvier, février, mars, station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de glace.



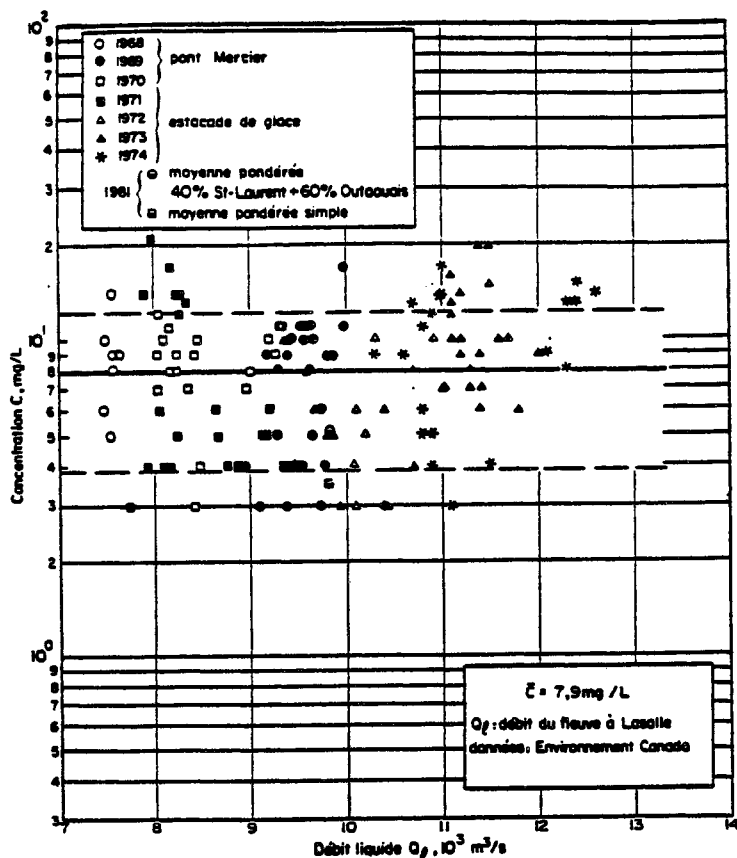
— Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2%, avril, station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de glace.



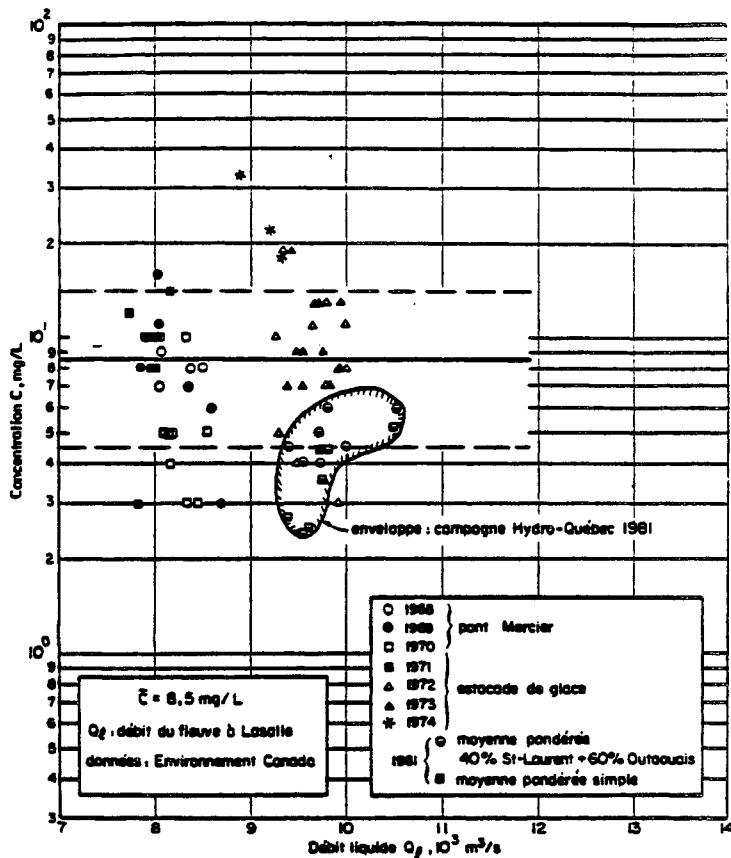
— Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2%, mai, station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de glace.

C_S -VS- Q_L , montréal.
janvier à mai.

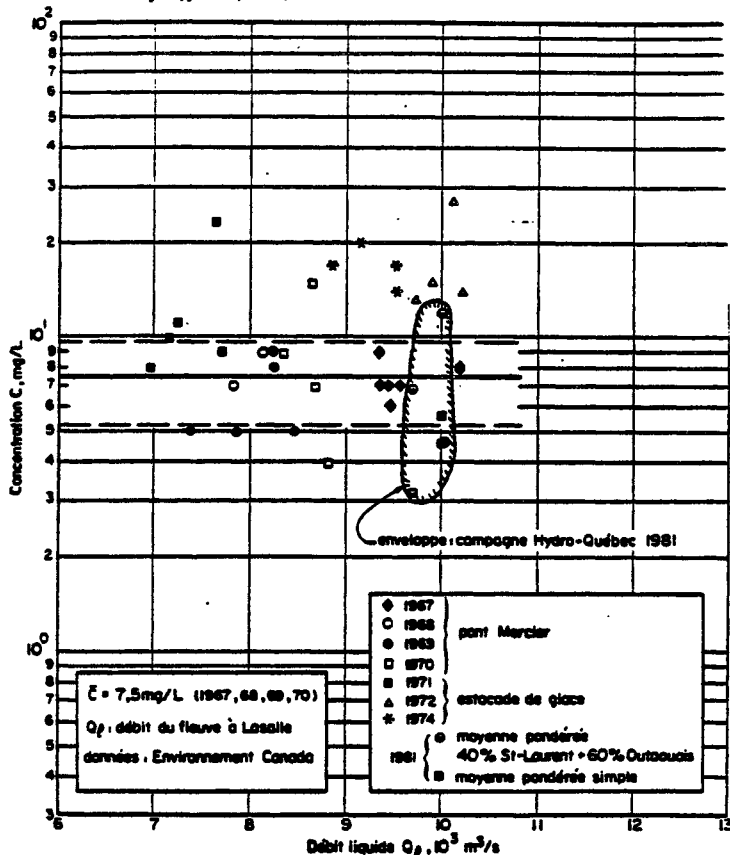
Données: Environnement Canada.
Source: Hydrotech inc, 1983, pour Hydro-Québec.



4.5 — Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2 % ; juin, juillet, août ; station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de



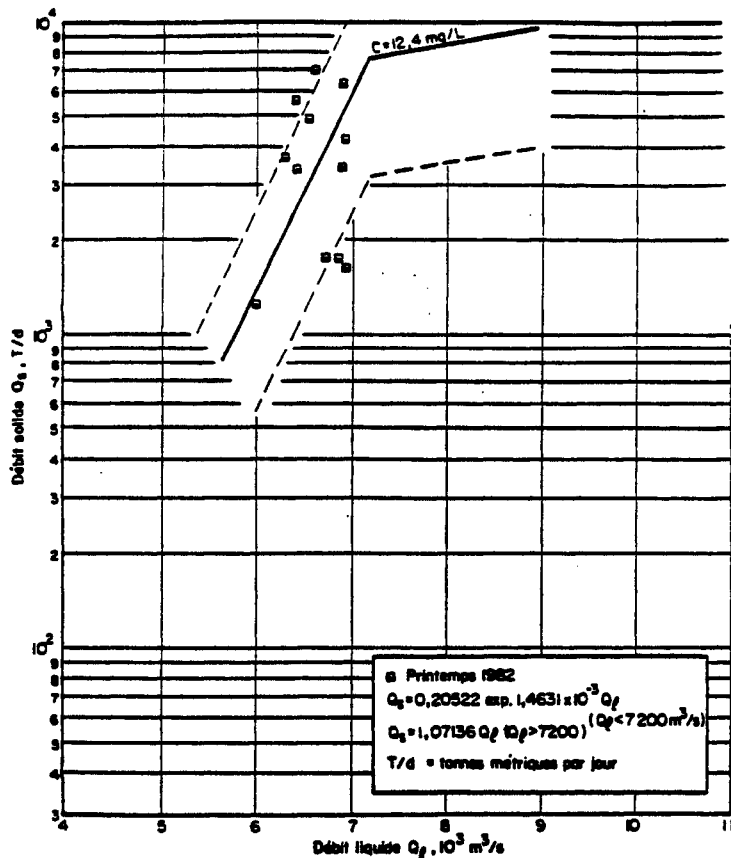
— Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2 % ; septembre, octobre ; station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de



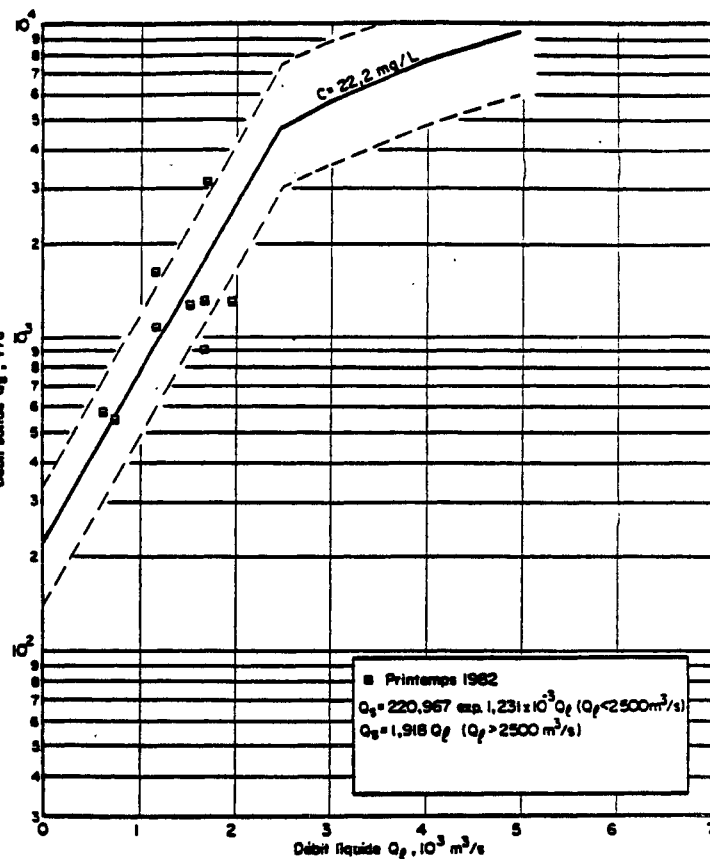
— Relation concentration-débit liquide et bande de confiance à 68,2 % ; novembre, décembre ; station Saint-Laurent, pont Mercier et estacade de

C_S -VS- Q_L , montréal.
juin à décembre

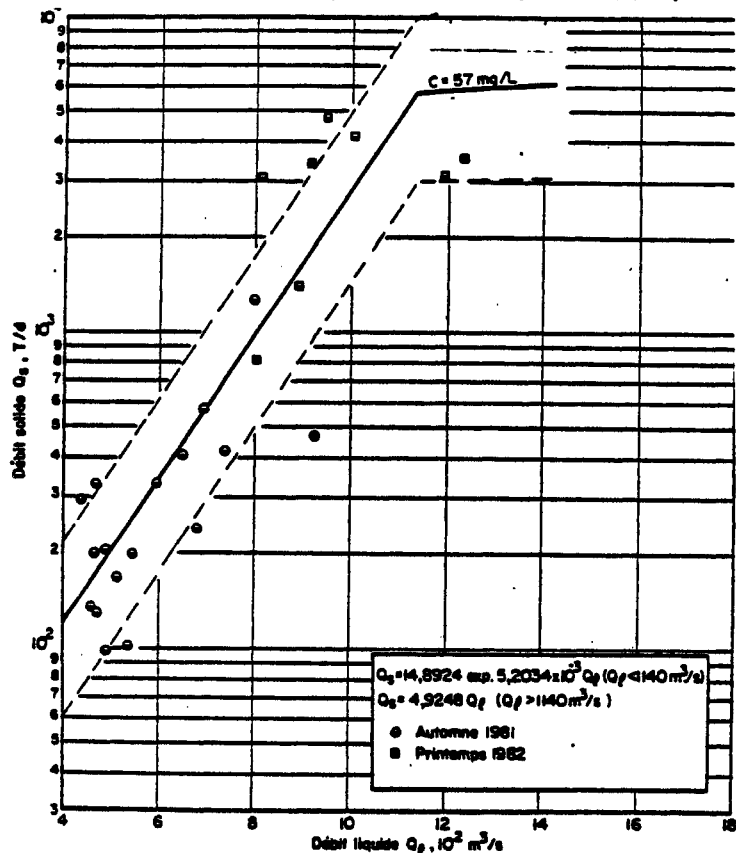
Données: Environnement Canada.
Source: Hydrotech inc, 1983, pour Hydro-Québec.



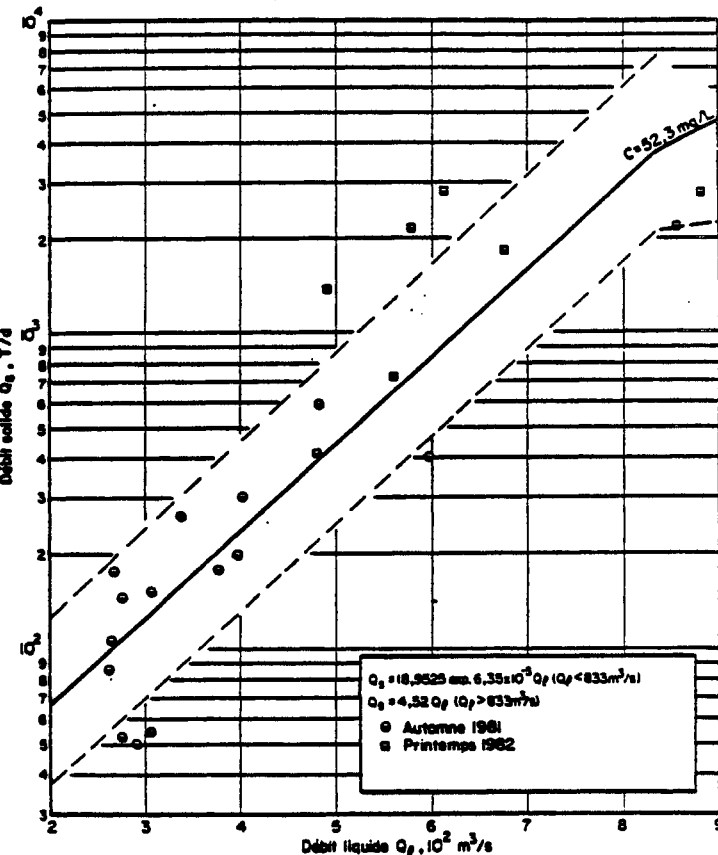
— Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Section Beauharnois, entrée lac Saint-Louis, fleuve Saint-Laurent.



— Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Section Cédres, entrée du lac Saint-Louis, fleuve Saint-Laurent.



— Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Section Sainte-Anne-de-Bellevue, entrée du lac Saint-Louis, rivière Outaouais.



— Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Section Vaudreuil, entrée du lac Saint-Louis, rivière Outaouais.

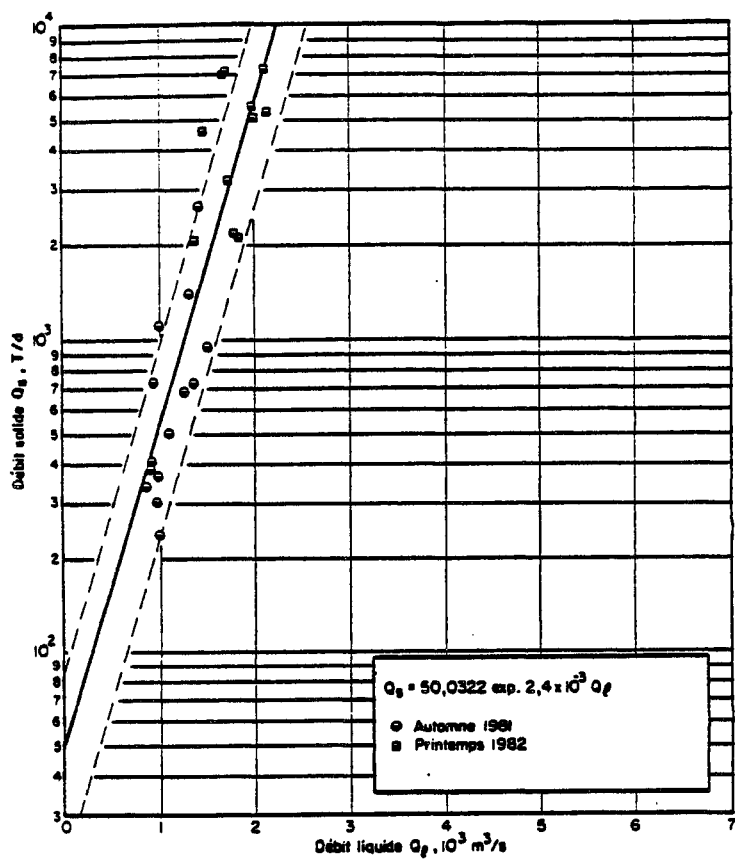


Fig. 4.12 — Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Rivière des Prairies

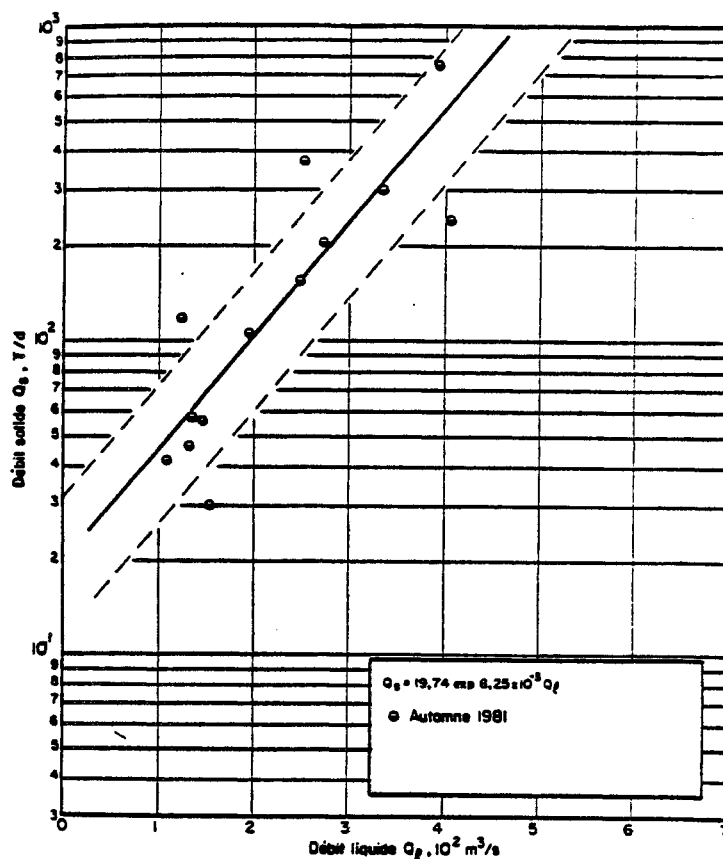


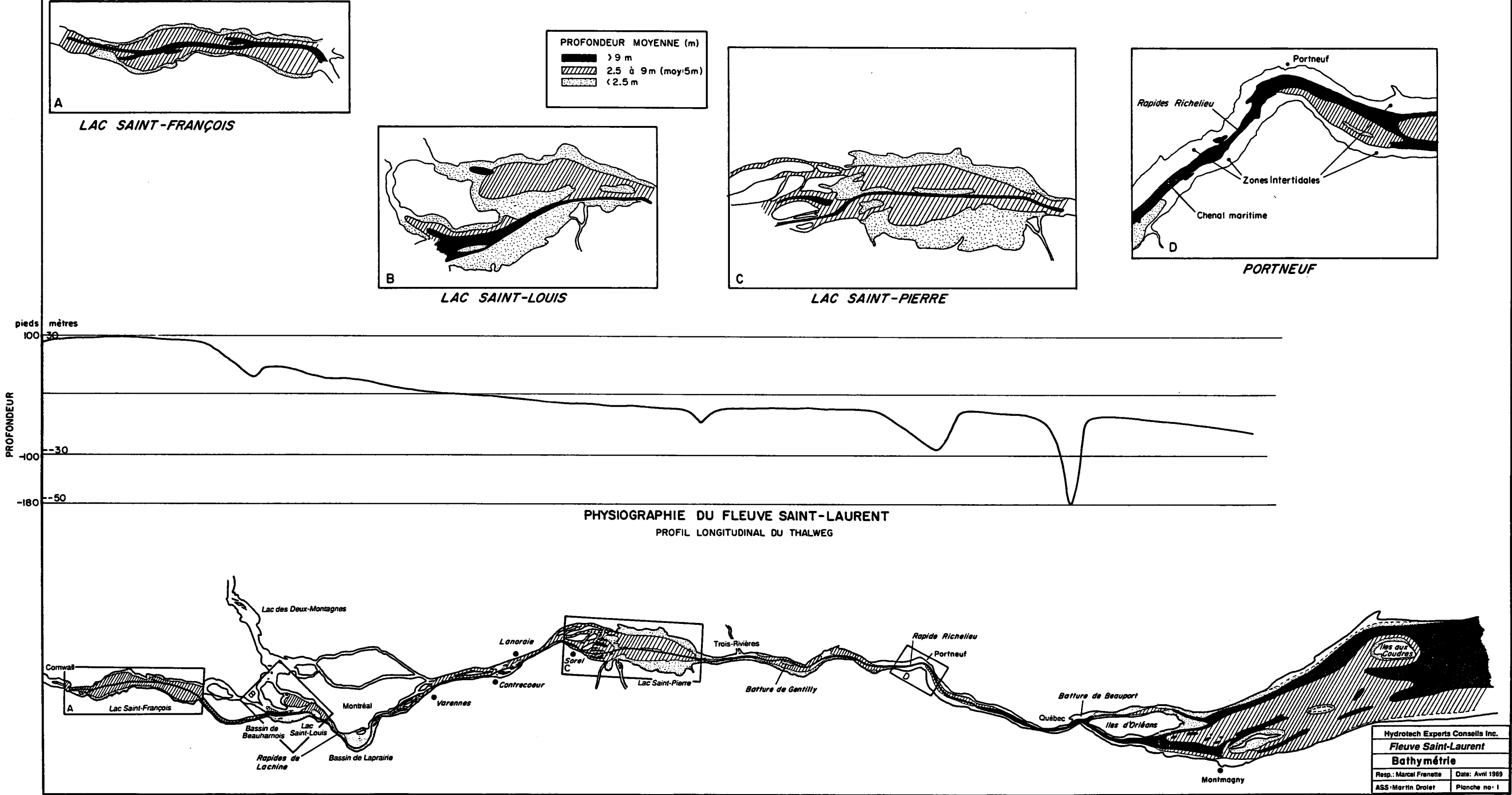
Fig. 4.11 — Relation débit solide-débit liquide et bande de confiance à 68,2 %.
Rivière des Milles-Iles

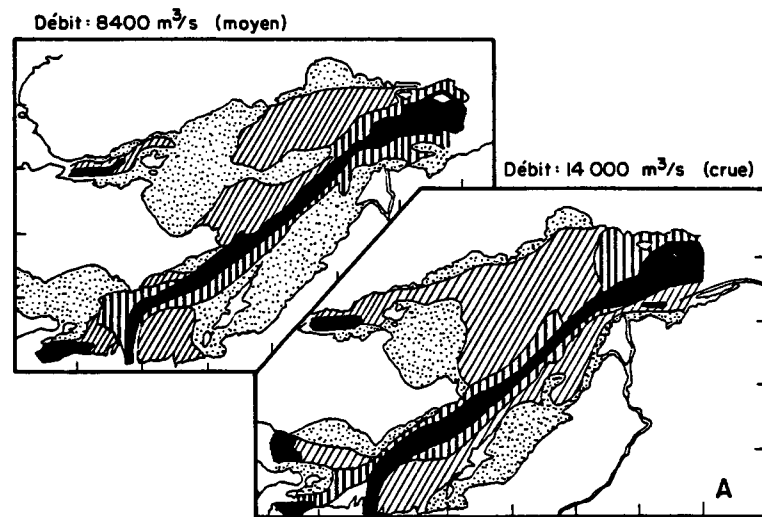
Source: Hydrotech inc, 1983, pour Hydro-Québec.

Annexe III

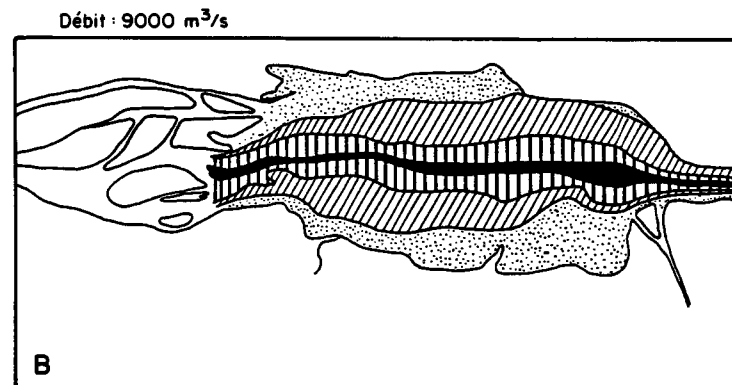
Planches 1 à 8

PHYSIOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE DU FLEUVE SAINT-LAURENT

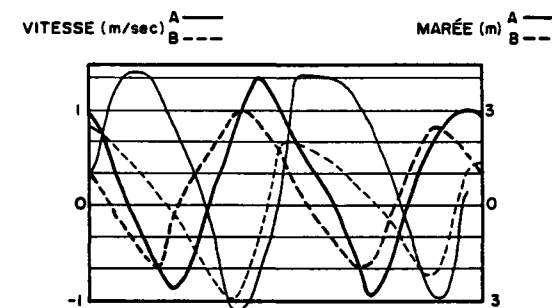




LAC SAINT-LOUIS
Vitesses simulées (Sources: Hydro-Québec, service hydraulique)



LAC SAINT-PIERRE
Vitesses simulées (Sources: CFSL, 1978)



ILE D'ORLÉANS
Vitesses mesurées et hauteur de marée
Bras nord et Bras sud

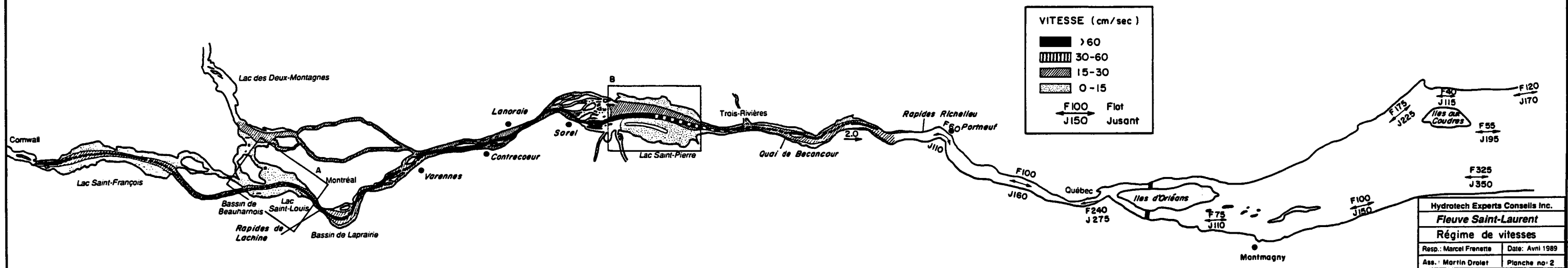
VITESSES MOYENNES (cm/sec)

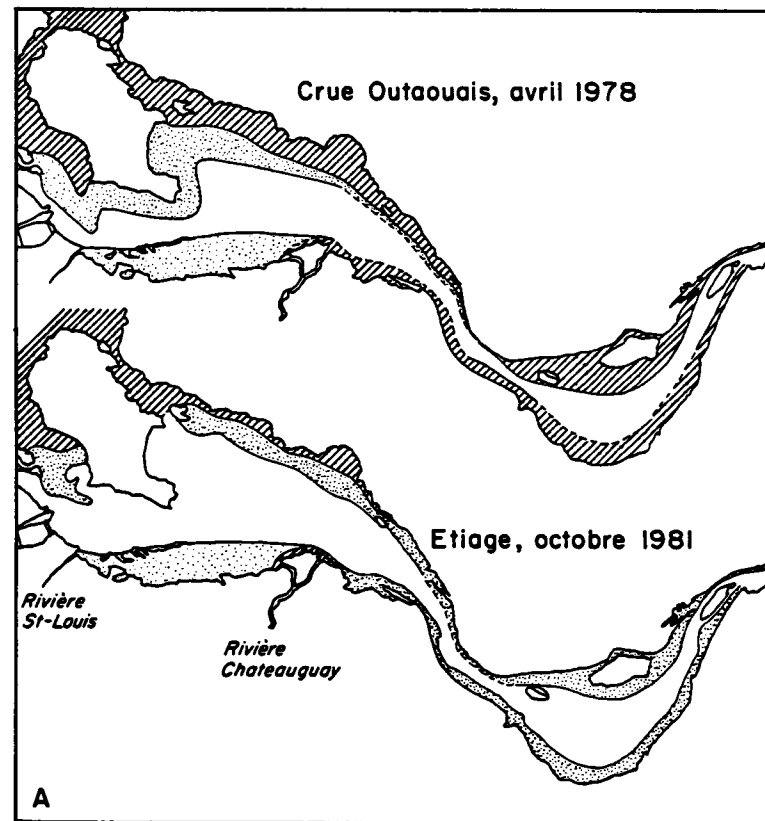
— CHENAL
— RIVE NORD
- - RIVE SUD

PROFIL DES VITESSES

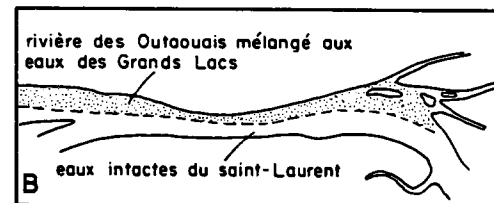
JUSANT

FLOT

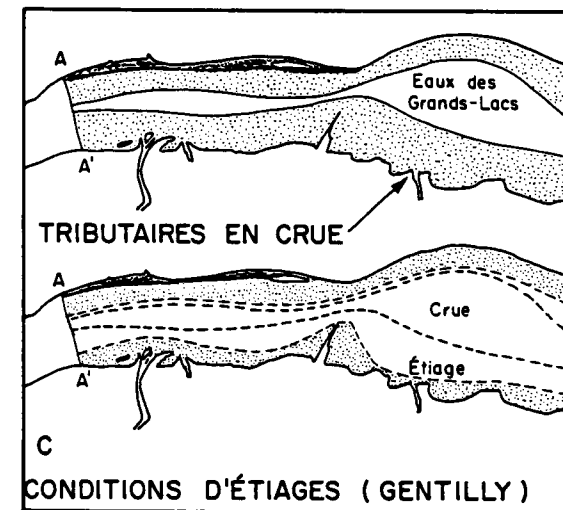
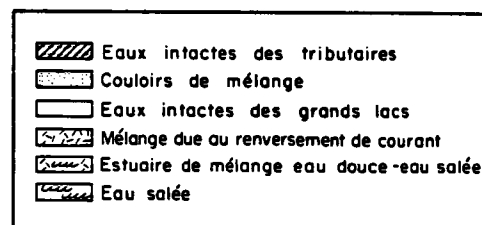




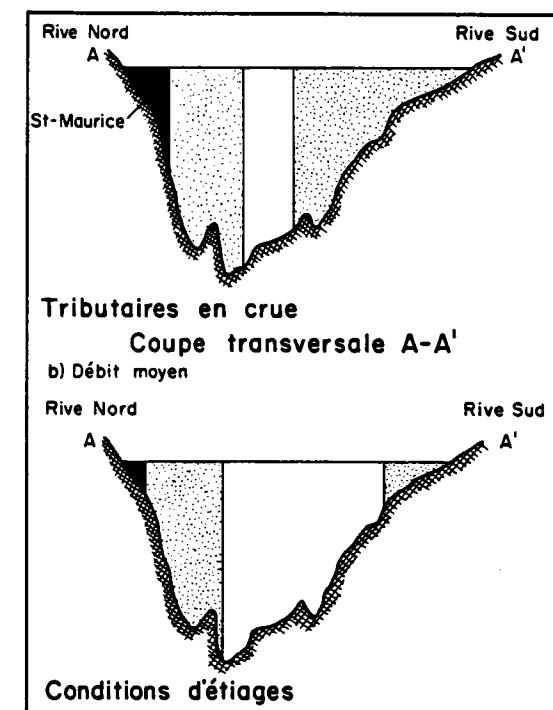
LAC ST LOUIS ET BASSIN DE LAPRAIRIE



AMONT DELTA SOREL

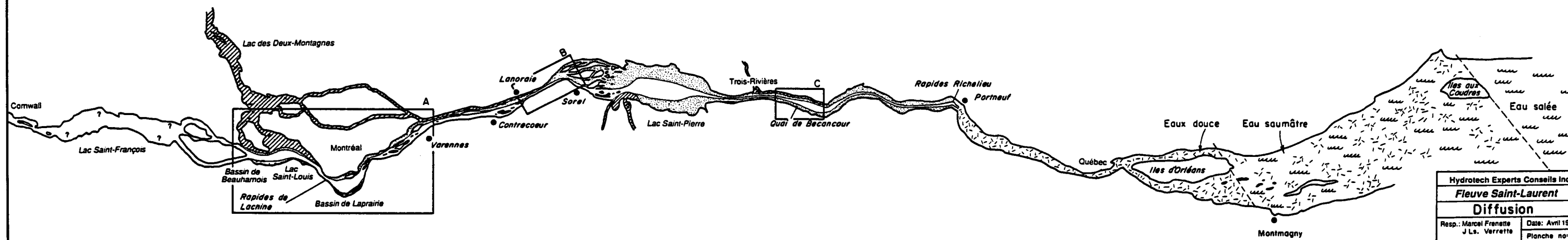


Sources: "Verrette & Frenette" revue l'ingénieur 1981



GENTILLY

DÉLIMITATIONS DES COULOIRS D'ÉCOULEMENT



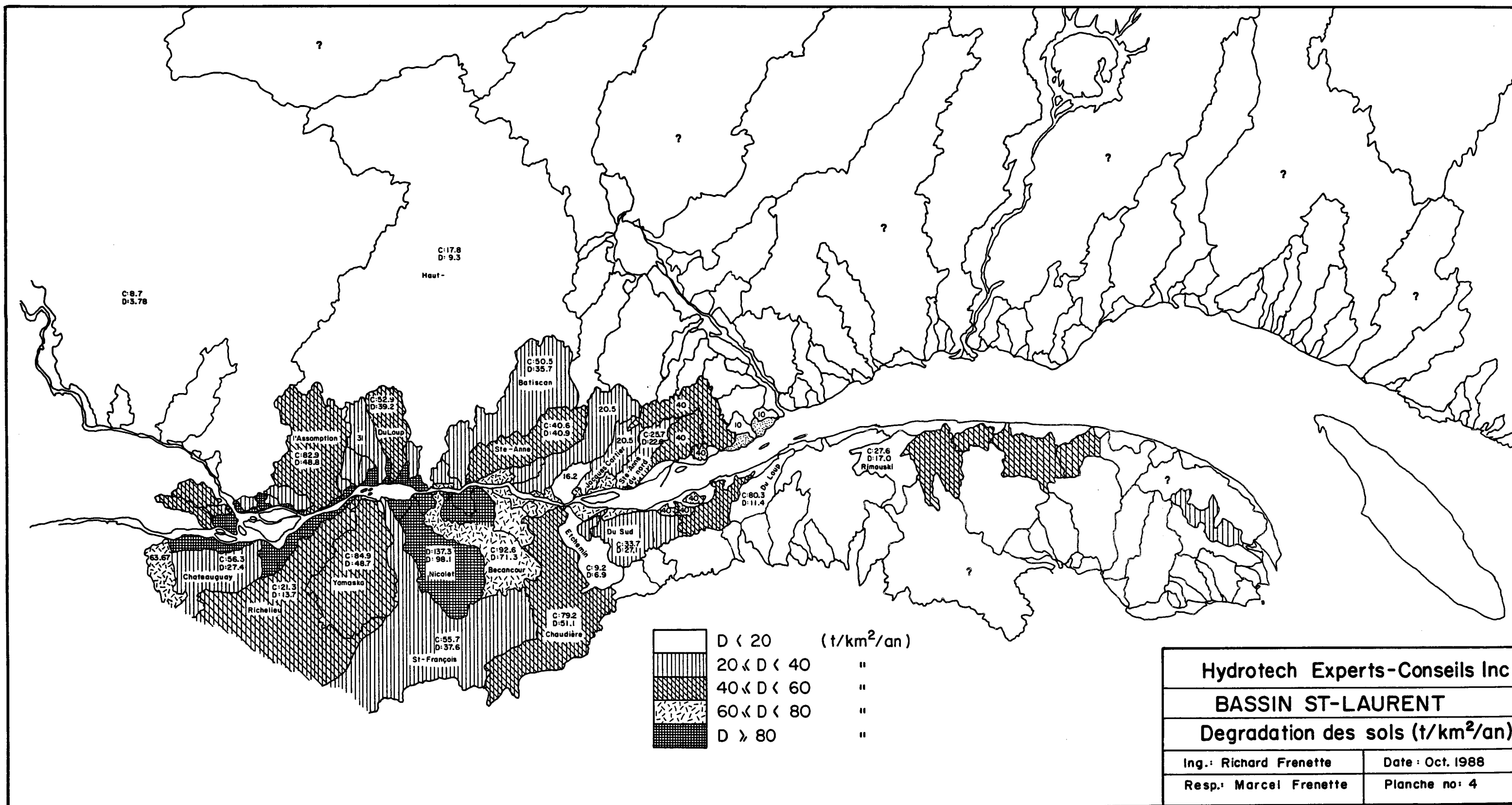
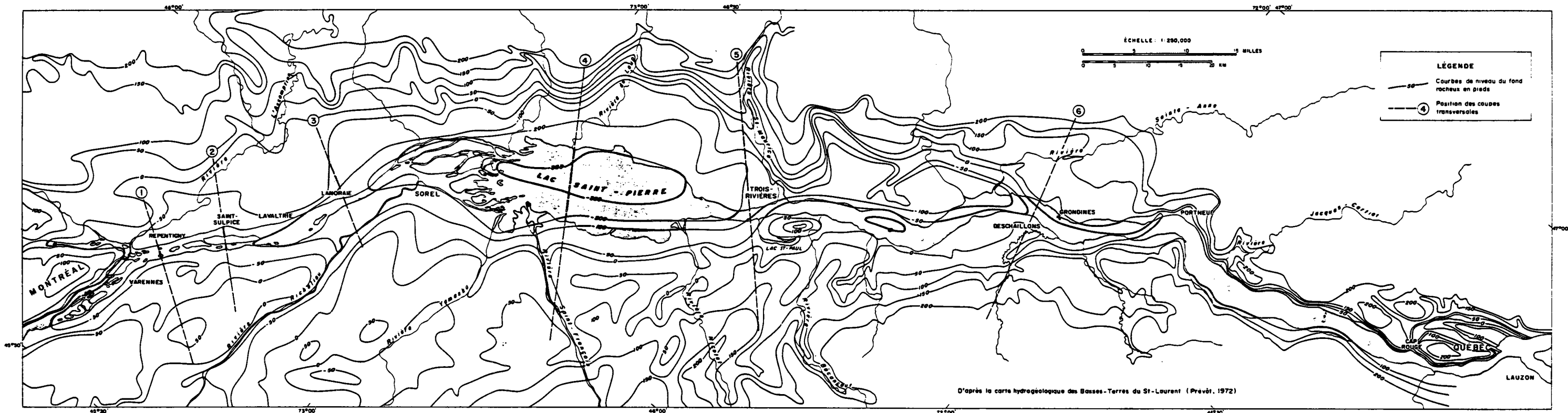
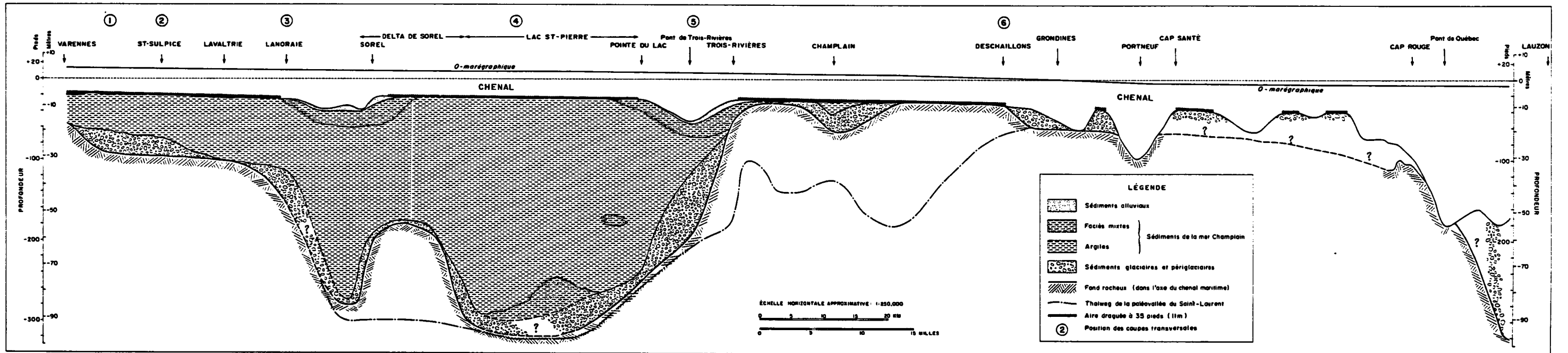


PLANCHE 6

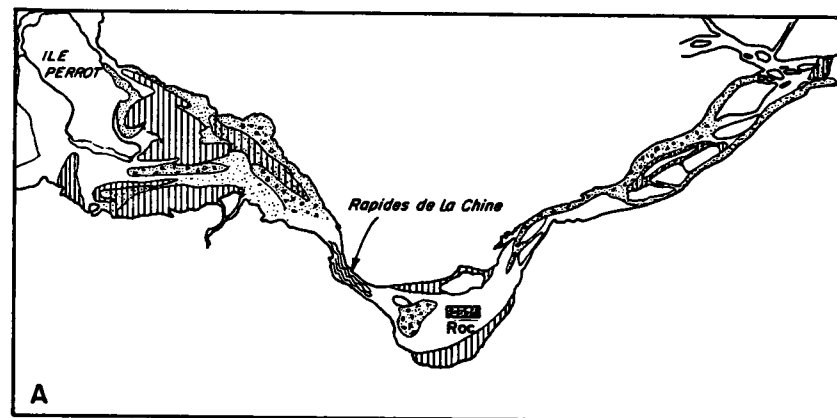


MORPHOLOGIE DE LA ROCHE DE FOND

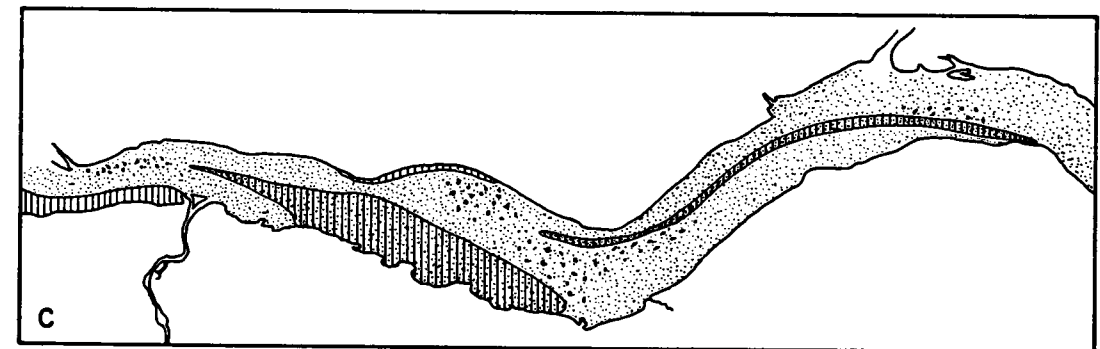
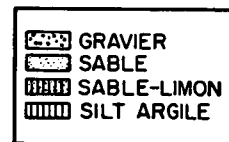


COUPE SYNTHÉTIQUE LE LONG DU CHENAL MARITIME

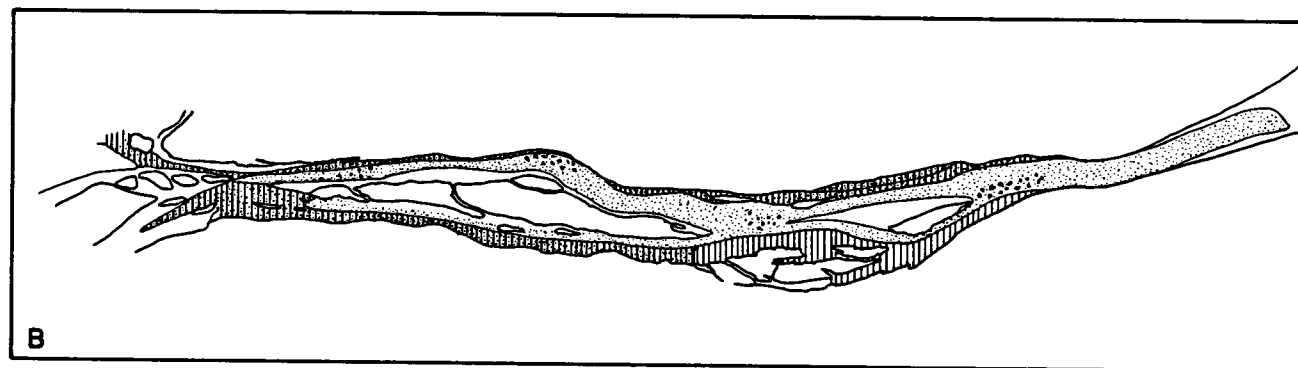
NATURE DES FONDS



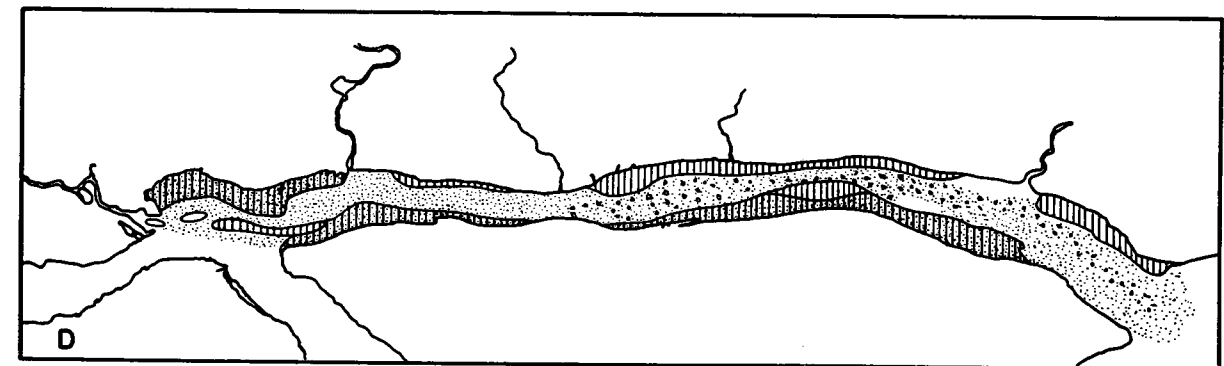
A
RÉGION DE MONTRÉAL



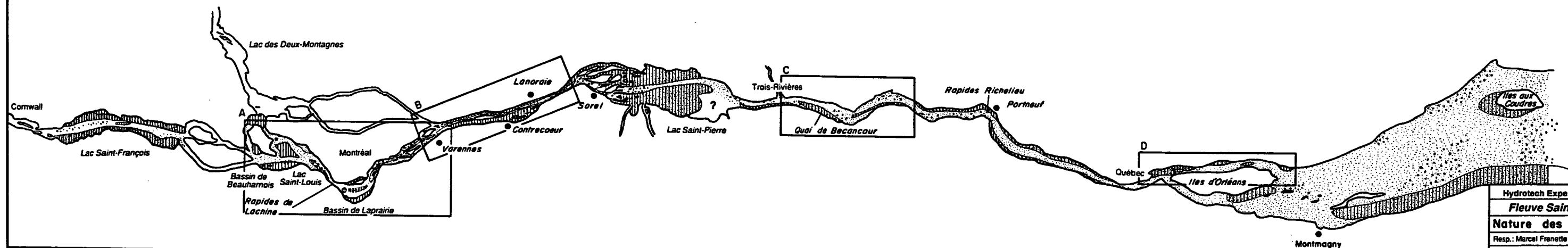
C
TRONÇON TROIS-RIVIÈRES — DESCHAILLONS



B
TRONÇON VARENNES — SOREL



D
BRAS NORD ILE D'ORLÉANS



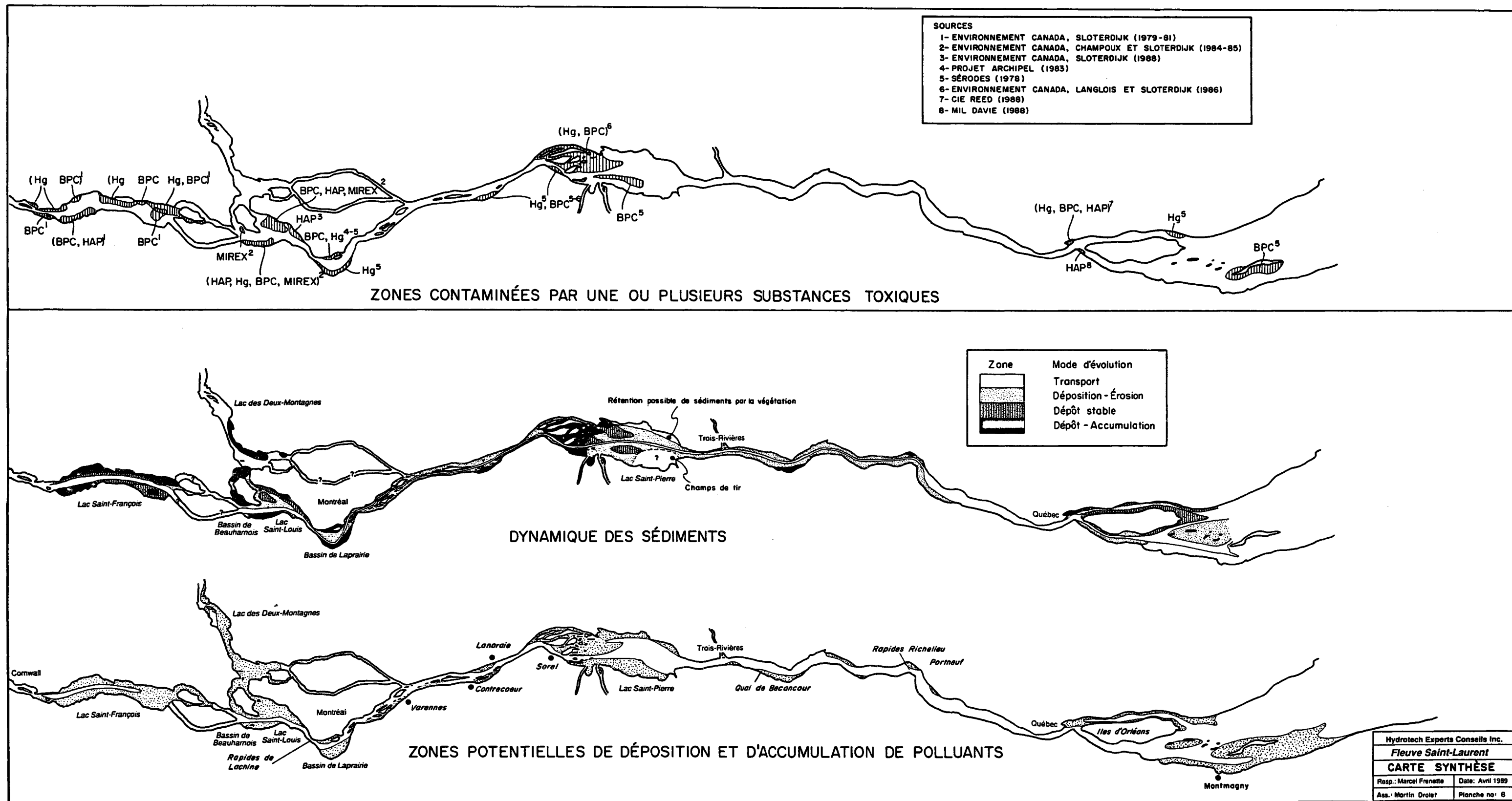
Hydrotech Experts Conseils Inc.

Fleuve Saint-Laurent

Nature des fonds

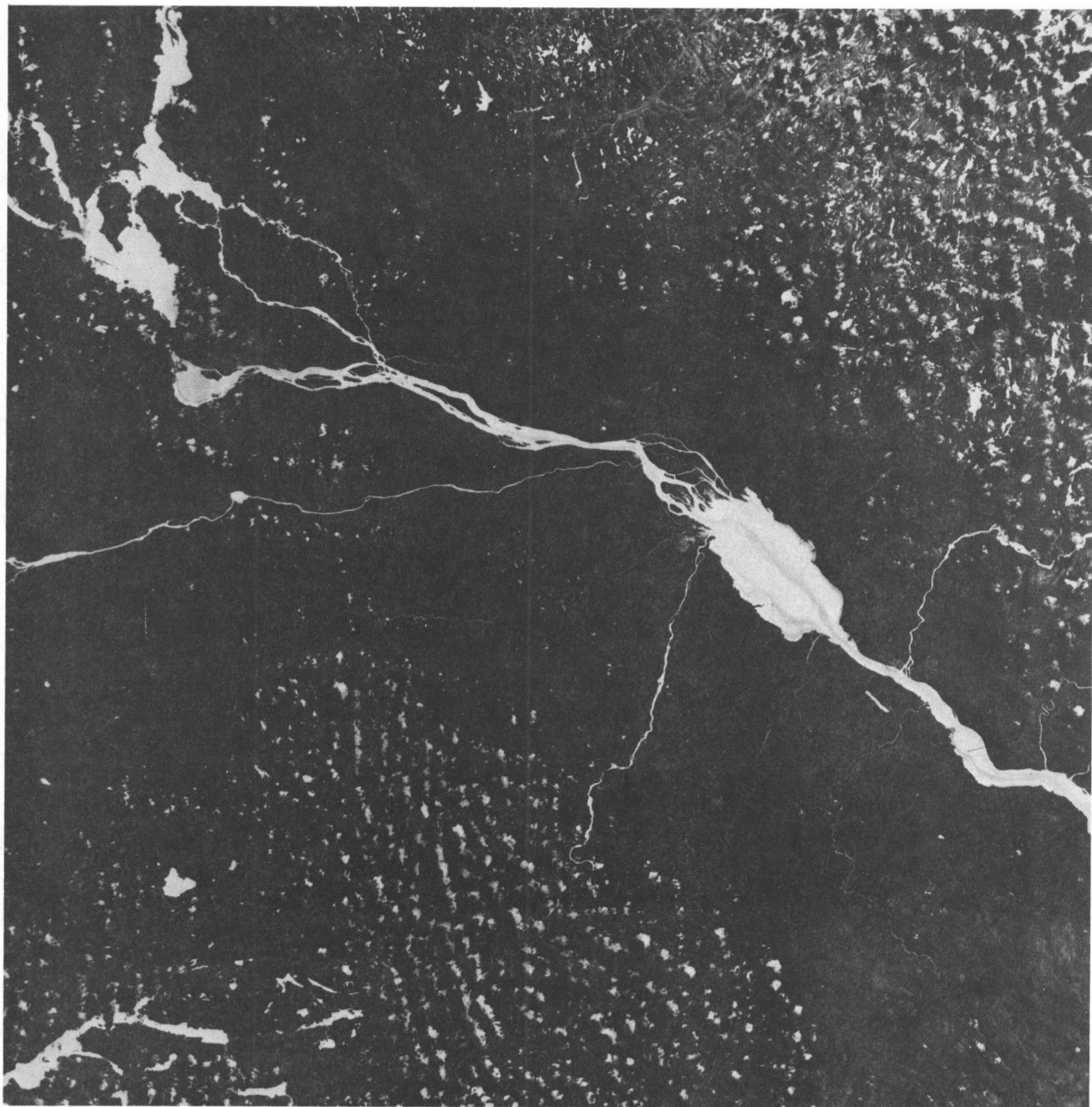
Resp.: Marcel Frenette Date: Avril 1989

Ass.: Martin Drolet Planche no. 7

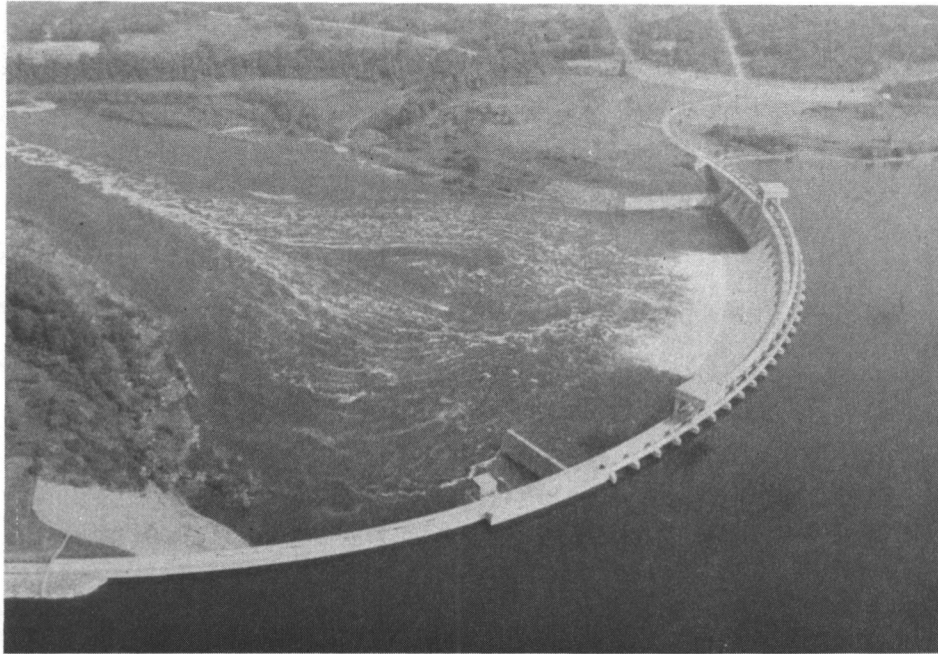


Annexe IV

Photographies



Photos: 1 Vue générale du Saint-Laurent de
Beauharnois à Sainte-Anne de la Pérade.
(photo satellite du 17 septembre 1973)



Photos: 2 Barrage régulateur du Long Sault
en amont de Cornwall.

B16-28- 65 994-45



Photo: 3

Archipel de Montréal

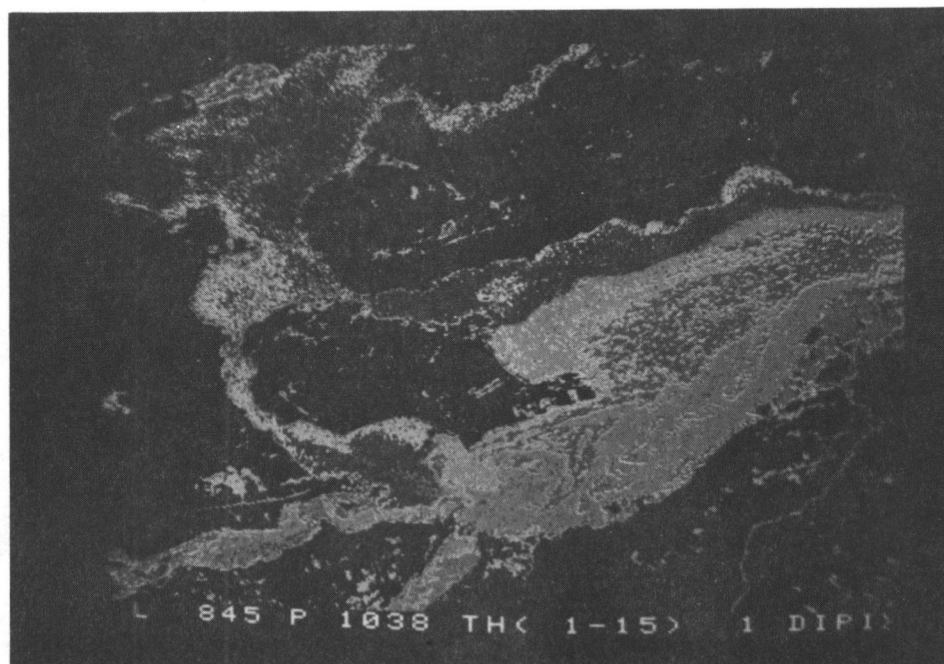
Complexité des eaux à l'arrivée de la rivière des Outaouais dans le Saint-Laurent

Vue: Saint-Laurent, lac des Deux montagnes, Chenaux Vaudreuil et Saint-Anne, rivière des Prairies et des Milles-Iles, lac Saint-Louis et Bassin de Laprairie

(photo LANDSAT du 28 avril 1978)

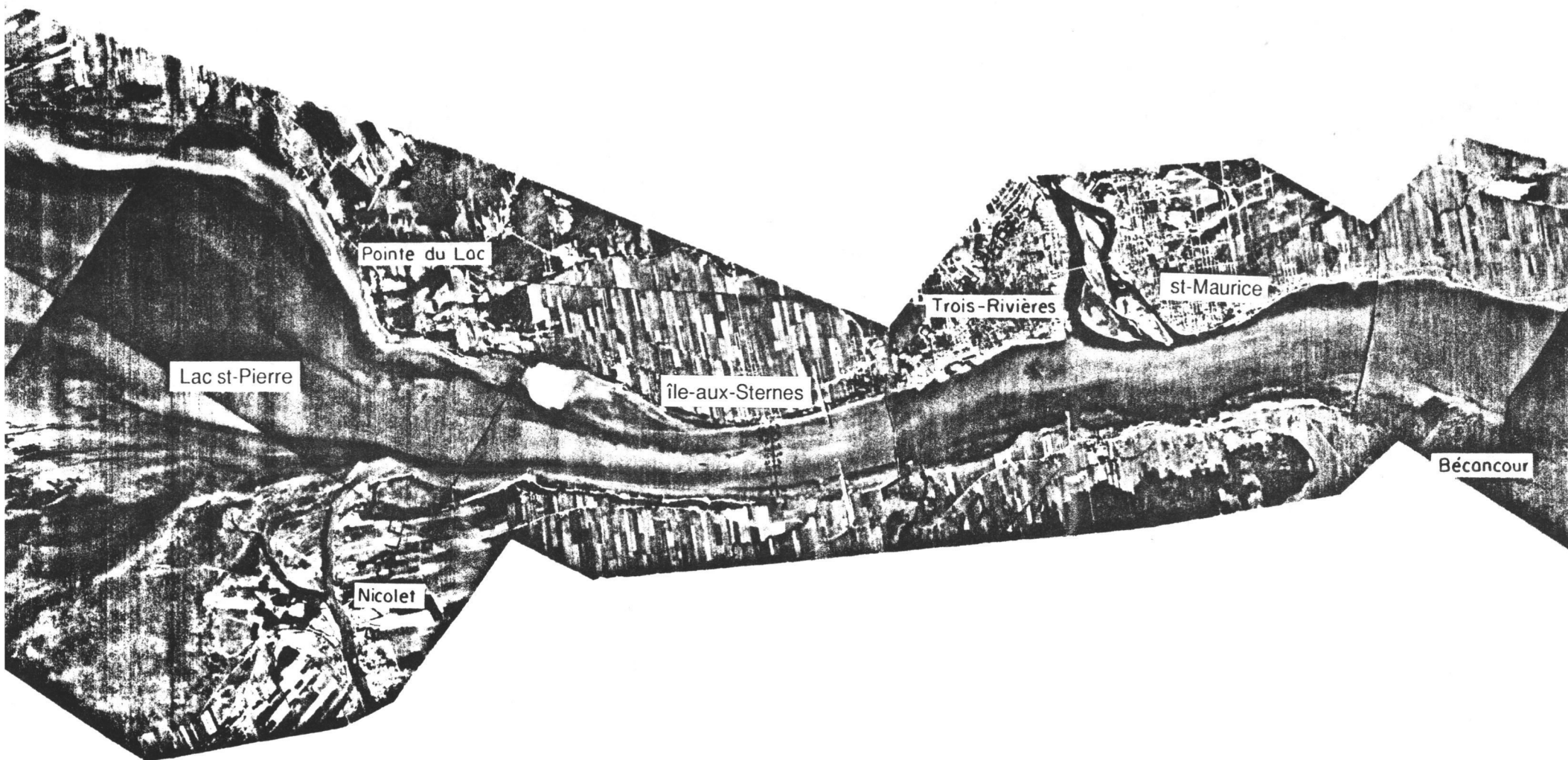


a) Vue naturelle

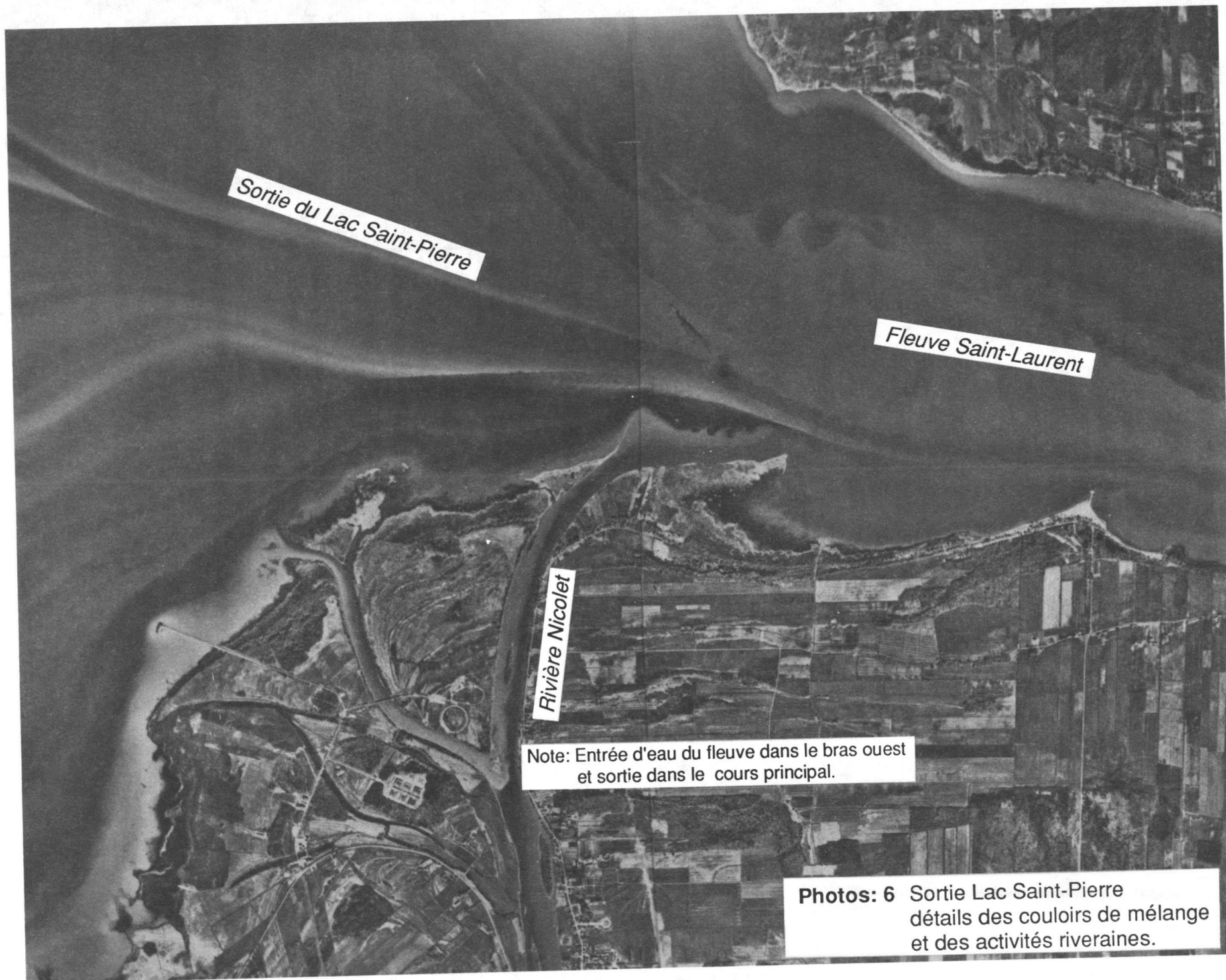


b) Traitement numérique

Photos: 4 *Photo satellite du Lac Saint-Louis*
Processus de mélange du Saint-Laurent
avec la rivière des Outaouais.



Photos: 5 *Vue aérienne*
Sortie Lac Saint-Pierre jusqu'à Bécancour.
Vue des couloirs de mélange, de l'effet de
l'île aux Sternes et du Saint-Maurice.



Sortie du Lac Saint-Pierre

Fleuve Saint-Laurent

Rivière Nicolet

Note: Entrée d'eau du fleuve dans le bras ouest
et sortie dans le cours principal.

Photos: 6 Sortie Lac Saint-Pierre
détails des couloirs de mélange
et des activités riveraines.



Photos: 7 Vue générale du quai de bécancour



Photo: 8

Région de Portneuf en aval des rapides Richelieu
 ↑ Vue aérienne à marée basse.

A noter: Force et concentration de l'écoulement
 dans le centre,
 macro-turbulence et effets du quai sur la
 sédimentation

Vue aérienne à marée haute. →

A noter: Distinction de deux couloirs d'écoulement
 et déviation des eaux par le quai



GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
 MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES

Service de la cartographie

© Tous droits réservés

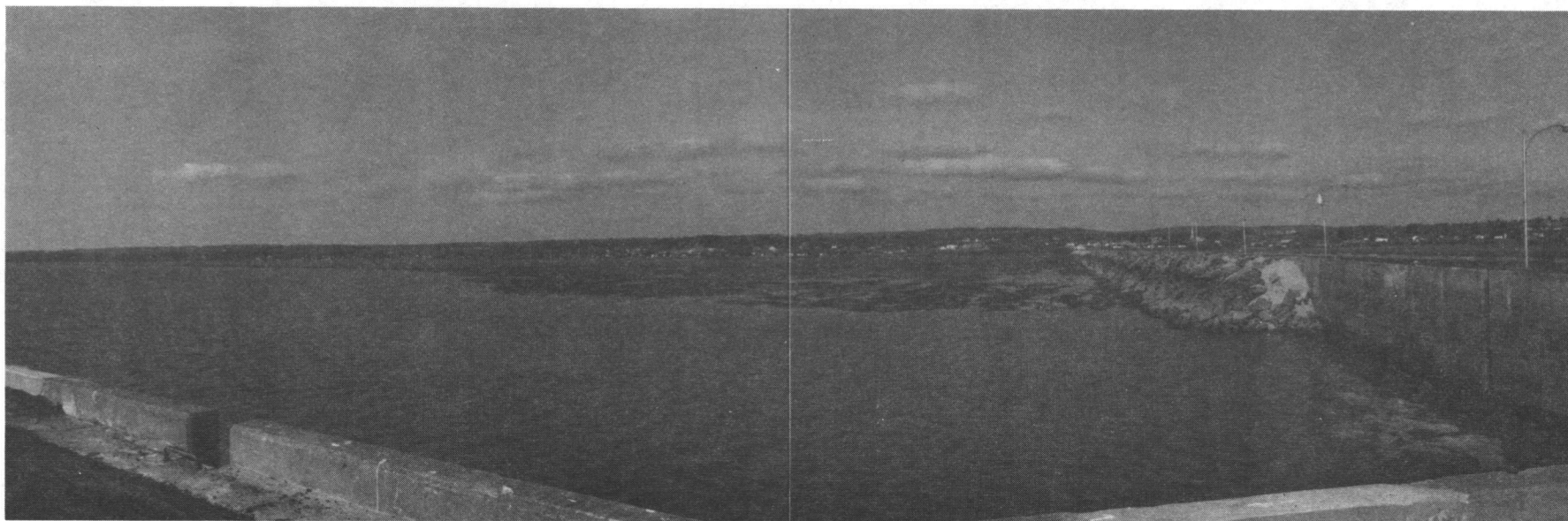


PHOTO 9 A Vue panoramique de la zone intertidale (batture) à marée basse du côté ouest du quai de Portneuf.

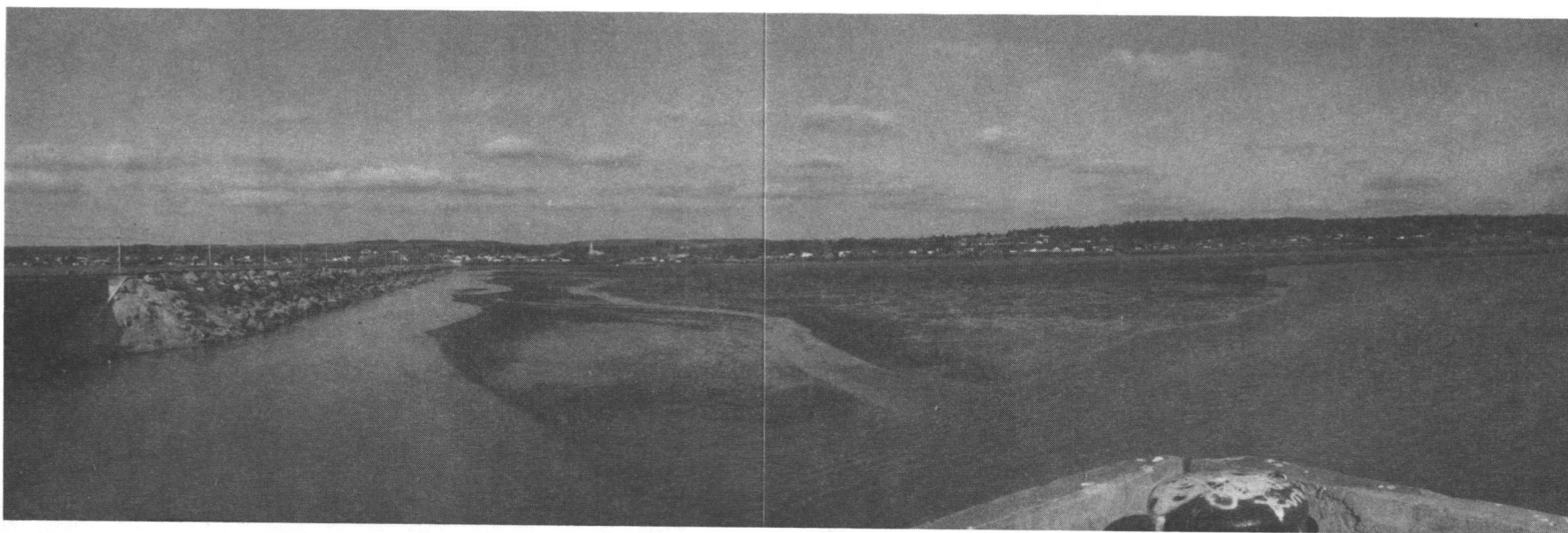
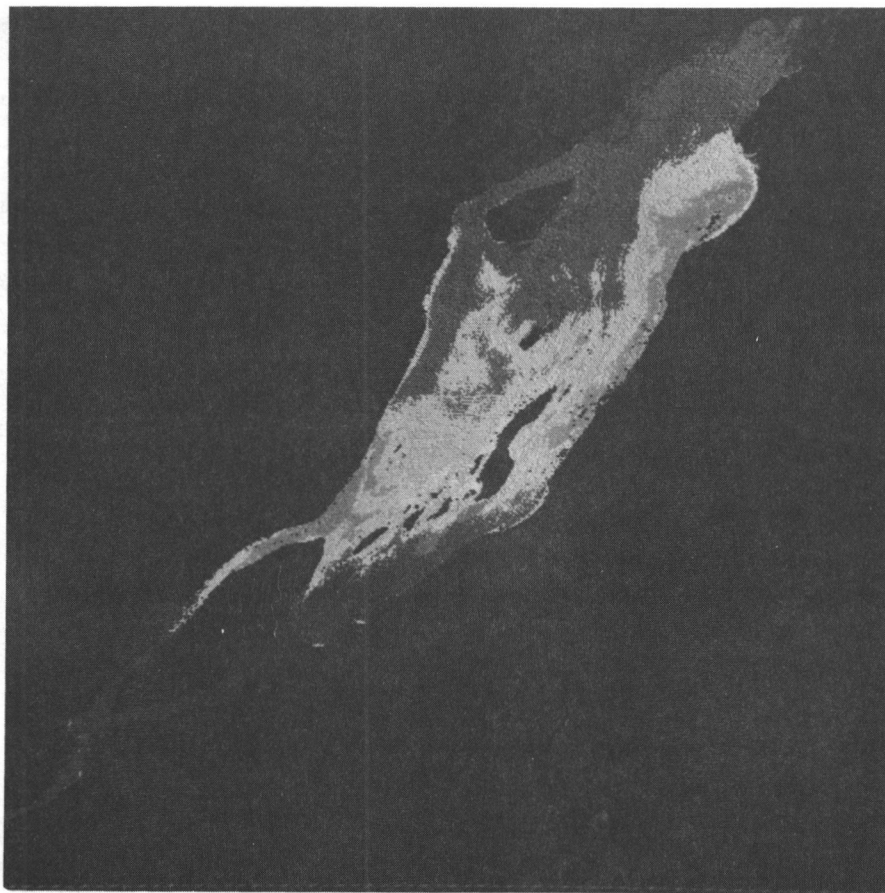


PHOTO 9 B Vue panoramique de la zone intertidale (batture) à marée basse du côté est du quai de Portneuf.

photo 10



**Différenciation des masses d'eau
du moyen estuaire du Saint Laurent**

29 août 1973 à 10h 04 HNE,
marée baissante
Marée basse à l'Île aux Coudres: 10h 47
Marée basse à Québec: 14 h 40

