REVUE DE LA LITÉRATURE ET BIBLIOGRAPHIE DES PROCESSUS GÉOLOGIQUES ET DES SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

J.P. Coakley[1], J.-C. Dionne[2] and D. Brodeur[3]

NWRI Collection N° 89-07F

[1] Lakes Research Branch
National Water Research Institute
Canada Centre for Inland Waters
Burlington, Ontario, Canada, L7R 4A6

[2] Université de Laval
Ste-Foy, Québec

[3] Université de Moncton
Moncton, N.B.

June 1989

PERSPECTIVE DE GESTION

Le St-Laurent, avec son Estuaire, relie les Grands Lacs à l'océan Atlantique. À ce titre, c'est un élément important dans l'évolution ultime et le cheminement des contaminants toxiques des Grands Lacs laurentiens. Il charrie également des contaminants provenant de son propre bassin hydrographique. Beaucoup de ces contaminants entrent en association préférentielle avec les particules en suspension et c'est pourquoi les processus géologiques jouent un rôle important dans le comportement de ces éléments, surtout par adsorption, par dilution avec des sédiments propres et, en dernière instance, par enfouissement. Le présent rapport résume les données géologiques et sédimentologiques sur le St-Laurent et constitue le point de départ des futures études sur la dynamique des sédiments contemporains dans le bassin du St-Laurent.

AVANT-PROPOS

Cette étude comprend deux parties. La plus importante est une bibliographie exhaustive de la littérature sur les sédiments et la géologie de la vallée du St-Laurent, de Kingston à l'embouchure du Saguenay. La bibliographie portant sur le secteur allant du lac St-Pierre au Saguenay a été rédigée, en grande partie, par Denis Brodeur, sous la direction du Dr. J.-C. Dionne (Université Laval). La revue est précédée d'un sommaire général des sédiments et de la géologie du St-Laurent basé sur la littérature existante.

MANAGEMENT PERSPECTIVE

The St. Lawrence River, including the estuary, forms the link between the Great Lakes and the Atlantic Ocean. As such, it is an important element in the ultimate fate and pathways of toxic contaminants introduced into the Laurentian Great Lakes. It also carries a burden of contaminants originating from its own watershed. Many of these contaminants show a preferential association with the suspended particulate phase, so it is clear that geological processes play a significant role in the behavior of these elements, primarily through adsorption, dilution with clean sediments, and ultimately, burial. This report summarizes the geological and sedimentological literature on the St. Lawrence and serves as an initial point of departure for further investigations into modern sediment dynamics in the St. Lawrence system.

FOREWORD

This review consists of two parts. The most important is a comprehensive bibliography of literature on the geology and sediments of the St.Lawrence valley, from Kingston to the mouth of the Saguenay River. The bibliography pertaining to the section from Lac St. Pierre to the Saguenay was written, for the most part by Denis Brodeur, under the direction of Dr. J.-C. Dionne (Université Laval). The review is introduced at the beginning by a general summary of the St. Lawrence River geology and sediments, based on the available literature.

INTRODUCTION

Le fleuve Saint-Laurent (Figure 1) est le seul exutoire naturel des Grands-Lacs vers l'Atlantique. De sa sortie du lac Ontario près de Kingston, en Ontario, il coule vers le nord-est pour rejoindre l'Océan Atlantique 750 km plus loin dans le golfe du Saint-Laurent. Sur ce parcours, l'ltitude s'abaisse d'environ 75 m, dont 69 m dans les 250 premiers kilomètres entre le lac Ontario et Montréal; dans ce secteur, il y a de nombreuses dénivellations dont certaines relativement importantes et de plusieurs rapides. Le Saint-Laurent et ses principaux affluents, la rivière des Outaouais, le Saint-Maurice, la rivière Richelieu et la rivière Saint-François, drainent un immense bassin hydrographique couvrant une superficie d'environ 1 200 000 km^2. Étant donné que le Saint-Laurent fait partie de l'un des plus importants réseaux de navigation intérieure au monde (la voie maritime du Saint-Laurent), l'écoulement et les niveaux de l'eau du fleuve sont partiellement contrôlés par des ouvrages localisés dans la section du fleuve comprise entre Kingston et Beauharnois, près de Montréal. Ces ouvrages servent également à produire de l'hydroélectricité.

Le débit moyen du Saint-Laurent à Beauharnois est de 6000 m^3/s, sans tenir compte des 2000 m^3/s d'eau fournie par la rivière des Outaouais un peu en aval de la jauge de Beauharnois (Anonyme, 1985b). Plus loin, à Nicolet, légèrement en amont de l'embouchure du Saint-Maurice à Trois-Rivières, le débit moyen du fleuve est 10 100 m^3/s. En aval de Trois-Rivières, l'effet des marées devient de plus en plus important, diminuant l'importance des données sur le débit. Cependant, le débit moyen à l'embouchure du fleuve à

Québec a été évalué à plus de 14 000 m^3/s (Holeman, 1968). Quel que soit le critère retenu, avec un débit supérieur à celui du McKenzie, de la Volga ou du Ganges, le Saint-Laurent est un des plus grands fleuves du monde (tableau 1).

De plus, l'intense concentration des activités culturelles et industrielles dans la vallée du Saint-Laurent et son bassin hydrographique a entraîné de graves problèmes de la qualité de l'eau. D'importantes sections du fleuve sont sérieusement contaminées par une variété de produits chimiques toxiques provenant du lac Ontario et des effluents industriels et municipaux. Cette situation a suscité bien des inquiétudes pour les organismes biologiques, en particulierè pour ceux qui se trouvent dans le haut de la chaîne alimentaire: les poissons, les bélugas, les anguilles et l'homme. Le nouvel intérêt porté à l'écologie du Saint-Laurent a attiré l'attention sur le rôle de la géologie et de la sédimentologie physique dans les répercussions relatives à la contamination (Sérodes, 1976).

Le présent rapport a pour but de passer en revue les travaux concernant le contexte géologique et géophysique du Saint-Laurent et de résumer les aspects les plus significatifs des études permanentes menées par l'Institut nationale de recherche sur les eaux concernant le Saint-Laurent. L'information résumé ici pourra utilement servir de base aux études sur les processus des sédiments fluviaux et sur la dynamique des contaminants. Ce travail a toutefois été préparé avant le colloque international sur le devenir et les répercussions des produits chimiques toxiques dans les grandes rivières et leurs estuaires tenu à Québec en octobre 1988 et dont

le compte-rendu devait paraître à la fin de 1989. Ce compte-rendu contiendra sans doute une foule de détails sur le Saint-Laurent qui ne sont pas consignés dans le present rapport.

Cette revue de la documentation se limite à la section du fleuve qui se trouve entre Kingston et l'embouchure du Saguenay. Elle comprend donc le secteur du moyen estuaire (Québec - Saguenay). Au-delà, la nappe d'eau s'élargit et s'approfondit et s'apparente davantage à une mer intérieure (golfe) qu'à un véritable estuaire, et encore moins à un fleuve.

GÉOLOGIE RÉGIONALE

Le Saint-Laurent est localisé essentiellement dans la province géologique appelée la plate-forme du Saint-Laurent (Poole et al., 1970; Wilson, 1946). Cette région s'étend du cours inférieur des Grands-Lacs, le long de la vallée du Saint-Laurent vers l'est jusqu'à la pointe nord-ouest de Terre-Neuve (Fig. 1). La plate-forme est constitué de roches carbonatées et clastiques d'âge paleozoïque inférieur, stratifiées en lits quasi-horizontaux ou a pente douce et clastiques. Une cassure nette la délimite du Bouclier canadien au nord. A l'est des Grands-Lacs, la plate-forme est limitée au sud par les roches sédimentaires, plissées et métamorphisées des hautes-terres Appalachiennes. En général, la séquence stratigraphique de la région à l'étude (tableau 2) est composée de roches métamorphiques

cristalines à la base, d'âge Précambrien, recourvertes par des roches sédimentaires, d'âge Paléozoïque, elles-mêmes voillées en surface par des dépôts d'âge Quaternaire. Le Saint-Laurent entaille ces divers types de matériaux. Là où il n'y a pas de dépôts modernes, le lit et les versants sont constitués de ces dépôts plus anciens, qui donc comprennent la majeure partie des débris érodés transportés par le fleuve. Une description plus détaillée de ces matériaux et de leur répartition spatiale suit.

Roches du Précambrien

Les roches métamorphiques du Précambrien, c.-à-d. plus d'un milliard d'années, forment la base sur laquelle les roches plus jeunes de la région se sont accumulées. Elles affleurent à la surface et forment le chenal du fleuve dans le bief de 40 km entre Gananoque et Brockville, où la saillie du Bouclier canadien appelé l'Arche de Frontenac le croise en direction sud-est dans l'état de New-York. Les roches du Bouclier canadien sont absentes des basse-terres du Saint-Laurent. Elles affleuresnt de nouveau le long de l'estuaire à l'est de Québec (Cap Tourmente). A partir de ce point vers l'est, ces roches forment la rive septentrionale de l'estuaire et du golf. Les roches du Bouclier se trouvent dans la partie méridionale de la Province géologique de Grenville, une zone distincte d'axes est-ouest composée de roches très métamorphisées. Les types de roches comprennent des gneiss à anorthosite, de granite, des roches sédimentaires métamorphisées (marbres, quatzites) dans l'ouest, et du gneiss à amphibole dans les zones orientales (Wilson, 1946). Ces roches sont très résistantes

à tout genre d'altération et à l'érosion sauf aux processus glaciaires. Elles représentent le type de cailloux le plus commun dans les tills de la région (voir le chapitre sur les dépôts du Quaternaire).

Roches du Paléozoïque

Ce chapitre porte sur les roches sédimentaires du Cambrien et de l'Ordovicien de la plate-forme du Saint-Laurent qui se repose en discordance sur la surface du Bouclier canadien. Les 600 millions d'années d'érosion séparant ces deux groupes de roches n'ont laissé aucune marque géologique distincte, mais on croit que cette région a été sujette à une météorisation et une érosion intense avant d'être submergée par les mers du Paléozoïque. Les roches du Paléozoïque consistent principalement en grès pur de quartz à la base, et de schistes dans la partie supérieure de la section (tableau 2). Elles représentent l'assise rocheuse principale incisée par le Saint-Laurent. Ces roches sont généralement horizontales, mais elles sont inclinées par endroits, notamment sur les côtés de l'Arche de Frontenac et près de Beauharnois (Fig. 1). Ces zones où les couches les plus résistantes ont une fort pendage sont généralement associées à la présence de rapides dans le lit du fleuve.

Les roches d'âge paléozoïque de la plate-forme sont séparées des roches du Bouclier précambrien au nord par des failles normales suivant un axe est-ouest. Le terme "normales" signifie que les plus jeunes roches du côté sud de la faille, et situées au-dessus du plan de failles en pente, sont

déplacées vers le bas par rapport aux roches plus anciennes du Bouclier au nord. A la surface, l'expression topographique de ces failles correspond à des ruptures de pente nettes telles que des rapides et des chutes le long des cours d'eau écoulant vers le sud, comme les chutes Montmorency, à l'est de Québec.

Les roches de la plate-forme sont séparées des hautes terres plissées des Appalaches au sud par une importante zone de failles inverses (dans lesquelles les roches Appalachiennes du dessus chevauchent les roches de la plate-forme en-dessous). Cette zone de failles correspond à la Ligne Logan, ainsi denommé en honneur de Sir William Logan, le premier directeur de la Commission géologique du Canada. La faille de la Ligne Logan suit d'abord l'axe nord-sud de la vallée du lac Champlain, puis s'incurve vers l'est pour rejoindre la vallée du Saint-Laurent non loin de Québec (Kay et Colbert, 1985; Poole et al., 1970).

Le résultat physiographique du système susmentionné de failles normales au nord et de failles inverses au sud est une dépression structurelle, (ou fossé tectonique), allongée selon un axe générale est-ouest, parallèle au fleuve. Le rejet vertical total dans le fossé atteint plus de 450 m à certains endroits. Cette longue dépression a dupuis longtemps localisé une importante activité seismique permanente dans l'est du Canada (Basham et al., 1979). Son importance tectonique a été comparée à celle du rift est Africain, corespondant à une zone de contact entre deux importantes plaques de la lithosphère (Kumarapeli et Saul, 1966).

Roches plus jeunes

Au cours de la période de 450 millions d'années séparant l'Ordovicien du Quaternaire, la vallée du Saint-Laurent a été exposée presque continuellement à une météorisation et une érosion subaérienne (Goldthwait, 1933), de sort qu'aucun dépôt sédimentaire correspondant à cet intervalle n'a été conservé. Des fragments de calcaires d'âge Dévonien inférieur ont été observé dans des roches volcaniques du Crétacé décrites ci-dessous, indiquant que des roches post-ordoviciennes ont déjà existées mais qu'elles ont été érodées par la suite. Au cours du Crétacé (70 - 130 millions d'années), la région du Saint-Laurent a connu une activité tectonique remarquable, accompagnée de nombreuses intrusions volcaniques et de la formation de failles. Le résultat le plus visible de cette période est illustré par des reliefs résiduels correspondant aux Montérégiennes, grosses collines arrondies dans les basse-terres entre Montréal et le Vermont. Ces masses rocheuses très résistantes, comme le Mont-Royal et le Mont Saint-Hilaire émergent au-dessus de la plaine recourant la plate-forme (Kay et Colbert, 1965; p. 433-435). On trouve aussi des lambeau de roches volcaniques alcalines sous le lit du fleuve dans la région de Montréal (île Saint-Hélène), comprenant des culôts de de syenite à néphéline, des filons intrusifs d'andésite et de rhyolite, et des diatrèmes.

Dépôts du Quaternaire

Les dépôts les plus récents recouvrant directement le substrat érodé du Précambrien et du Paléozoïque sont les dépôts d'origine glaciaire et marine. Ces matériaux ont été mises en place au cours des périodes

glaciaires et interglaciaires du Pléistocène, qui a commencé il y a environ 1 000 000 d'années pour se terminer il y a environ 10 000 ans seulement. Les dépôts correlatifs de cette époque sont des moraines glaciaires, des limons stratifiés mis en place dans des bassins glaciolacustres et glaciomarines, et les alluvions plus récentes. Ces dépôts forment maintenant les berges et le lit du fleuve sur la majeure partie de sa longueur. Comme ils s'érodent facilement, ils fournissent la majeure partie de la charge naturelle du fleuve. Pour les besoins de l'analyse, les dépôts du Quaternaire peuvent être subdivisés en deux principaux groupes stratigraphiques : les dépôts du Pléistocène (ceux associés aux glaciations) et les dépôts de l'Holocène (ceux accumulés au cours des 10 000 dernières années).

Sédiments d'âge Pléistocène

Bien que l'on puisse déduire, principalement à partir de la topographie de substrat rocheux, que la vallée du Saint-Laurent a été occupée par un important réseau fluvial depuis le milieu du Paléozoïque (Spencer, 1891), aucun dépôt datant de cette époque n'a pas encore été observé. Les plus vieux dépôts glaciaires trouvés dans la vallée du Saint-Laurent datent du Wisconsinien inférieur (la plus récente des quatre glaciations du Pléistocène, entre 100 000 et 10 000 ans). Ces dépôts datent d'environ 70 000 ans et comprennent une mince couche de limon varvé rougeâtre reposant directement sur la substrat d'âge l'Ordovicien dans la région de Trois-Rivières (Gadd, 1967). Le terme "varvé" désigne des dépôts à

granulométrie fine mis en place dans un lac de barrage glaciaire et compris d'un couplet (deux couches) dont l'une plus foncée et plus fine et l'autre plus claire et plus grossière, correspondant l'une et l'autre à la période hivernale et estivale, formant ainsi un cycle de dépôt annuel. Ce limon est recouvert directement par le till de Bécancour rouge-brique, un till calcaire, sableux et argileux, d'une épaisseur de 3 à 15 m (Gadd, ibid.; Prest, 1970). Le till de Bécancour ne se retrouve maintenant que dans la région qui se trouve au sud du fleuve. Là où il est présent, il est recouvert d'une mince couche de limon varvé rouge et gris. Cette séquence est donc interprétée comme indiquant le dépôt initial dans un lac de barrage glaciaire dans le centre de la vallée du Saint-Laurent, formée au moment du premier avancement glaciaire du Wisconsinien (indiqué par le limon varvé), suivie par l'occupation éventuelle de la vallée par la glace (till), et le retour à des conditions glaciolacustres lors du retrait du glacier (limon varvé).

Au-dessus du limon varvé gris-rouge, on trouve du sable et du gravier non-glaciaires avec d'abondantes intercalations de tourbe de sphaignes compacte appelés sédiments de Saint-Pierre par Gadd (1967). Ces lits ont une épaisseur moyenne d'environ 8 m et représentent probablement une brève période interstadiaire (exempte de glace) dans la région, datant d'environ 65 000 ans. Les températures y aient été plus fraîches qu'actuellement, mais les conditions fluviales normales, y compris un important développement de terres humides, prévalaient apparemment dans la vallée.

L'épisode de Saint-Pierre a été suivi d'une longue période de glaciation

dans la vallée du Saint-Laurent entre 65 000 ans et 12 000 ans. On remarque encore une fois la séquence sédimentaire habituelle associée à l'avancement d'un glacier. Des sédiments limoneux varvés gris déposés dans un lac de barrage glaciaire, le lac Deschaillons, constituent la base de cette unité. Un deuxième till recouvre ce depôt; it s'agit du till de Gentilly, un till gris, calcaire, et sableux. Au haut de la séquence, indiquant un retour à des conditions lacustres puis marines, se trouve une unité composée de limon varvé recouvert d'argile marine fossilifère. Etant donné que cette région a été longtemps couverte de glace, le faciès dominant de cette séquence est le till de Gentilly, qu'on trouve un peu partout dans la partie centrale des basses terres du Saint-Laurent (Gadd, 1967) et qui forme probablement le lit du fleuve dans la plupart des zones de cette région. Le till, qui atteint une épaisseur maximale de 20 m, mais fréquemment 2 à 3 m, est visible en coupe la longue des rives sous les sédiments marins les plus récents. La fraction la plus fine du till est principalement composée de poussière de roche relativement peu altérée; les galets et les blocs sont principalement des roches granitiques précambrien bien que les calcaires et les schistes locaux soient présents en faible quantité. Le till de Gentilly n'est pas aussi bien évident dans la partie occidentale de la vallée où il est très mince et discontinu. Cela est probablement dû aux fortes élévations du substrat rocheux entre Kingston et Cornwall.

Alors le glacier (inlandsis) s'était retiré du bassin du lac Ontario à l'ouest, le front glaciaire bloquait encore la vallée du Saint-Laurent. Les eaux de fonte accumulées dans de vastes lacs proglaciaires sse sont alors

écoulées vers le sud par les exutoires qui se trouvaient plus haut au sud-est du lac Ontario, et plus tard, dans la région du lac Champlain et la vallée de l'Hudson. Un lac glaciaire élevé, appelé lac Iroquois, s'est formé dans le bassin du lac Ontario et les basses terres méridionales du Saint-Laurent, atteignant l'est et le sud de Montréal. Les vagues et les courants dans ce grand lac ont alors érodé le till et les moraines dans les régions les plus élevées dans la partie occidentale de la vallée, et ont laissé d'importants dépôts de gravier et des champs de blocs de délavage. Dans les régions plus basses vers l'est, le till a été recouvert en majeur partie par un dépôt de limons lacustres. Au fur-et-à-mésure du retrait glaciaire vers le nord-est, les parties centrale et orientale des basses terres ont été ennoyées. L'épisode glacio-lacustre s'est finalement étendue à la majeure partie de la vallée du Saint-Laurent. Parent et Occhietti (1988) ont nommé "lac Candona" cette extension de la phase lacustre.

Aprés la déglaciation de l'ensemble de la vallée vers 12 000 ans a.a., suite au retrait du glacier vers le nord, le grand lac qui occupait jadis les basses terres a été remplacé par des eaux marines. Cette phase marine, appelée mer de Champlain, a eu lieu parce que le poids du glacier avait abaissé la croûte terrestre de quelque centaines de mètres sous le niveau de la mer. La persistance d'un front glaciaire dans la région de Québec, là où la vallée se rétrécit, explique pourquoi l'invasion marine n'a pas été synchrone à l'est et a l'ouest de Québe, et pourquoi on a donné des noms différents à ces mers, soit la mer de Goldthwait, à l'est de Québec (Dionne, 1977), et la mer de Champlain, à l'ouest de Québec (Parent et Occhietti, 1988). Les eaux marines s'sont alors étendues jusqu'à

Brockville, à 80 km du lac Ontario, et jusque la vallée de l'Outaouais, jusqu'àu delà Pembroke (Prest, 1970). La profondeur maximale des eaux se trouvait cependant dans la région de Montréal. Le Saint-Laurent coule maintenant dans ce qui était alors la partie la plus profonde de la mer de Champlain. C'est pourquoi le faciès sédimentaire le plus répandu de la mer Champlain recoupé par le fleuve est constitué d'une épaisse couche d'argile massive et uniforme. Cette argile, jadis appelée argile Léda ou argile de la mer de Champlain, est de couleur bleu-gris, fossilifère et limoneuse par endroit. Elle est généralement stratifiée, et comprend de sable et d'argile. Sa caractéristique la plus connue est sa thixotropie, une condition extra-sensible qui peut lui faire qu'elle perde soudainement toute sa capacité portante normalement élevée, et entraîner un écoulement visqueux lorsqu'elle subit un stress trop élevé (comme un tremblement de terre). Ces argiles forment une partie de la séquence supérieure exposée à bien des endroits le long des rives du Saint-Laurent, et sont responsables des nombreux glissements de terrain catastrophiques survenus dans le passé dans les basses terres du Saint-Laurent.

Sédiments d'âge Holocène

La diminution graduelle du poids considérable de la glace (inlandsis) qui pesait sur les basses terres du Saint-Laurent et l'est du Canada a donné lieu à un réajustement isostatique de la croûte terrestre, en particulier à partir de 12 000 ans. Le retrait du glacier s'étant fait généralement en direction nord-est, le rebondissement a été plus rapide et plus persistant dans les régions au nord et au nord-est. L'inclinaison différentielle

résultante, combinée au soulevement général de la région a entraîné la diminution progressive de la profondeur des eaux et conduit à la disparition de la mer de Champlain, et au rétablissement des conditions d'eau douce fluviale et lacustre dans la vallée du Saint-Laurent. A la phase marine a succedé, à partir de 10 000 environ, une phase lacustre qui a debuté dans le secteur du cours supérieur (ouest) de la vallée, pour migrer graduellement vers le cours inférieur. Elson (1969) a denommé cette phase lacustre: le lac Lampsilis. Ce dernier lac était apparemment formé par un blocage de la rivière par le delta qui s'est formé rapidement à l'embouchure de l'ancêtre de la rivière Saint-Maurice à Trois-Rivières. Cependant, lorsque ce blocage a finalement été érodé, le fleuve a continué à se développer vers l'est, rajeuni par la baisse du niveau de base causée par la brèche dans le delta et le soulèvement postglaciaire continuel. Le chenal entre le lac Saint-Pierre et Québec a été creusé au cours de cette période. Comme le soulèvement postglaciaire se poursuivait, le fleuve a continué à s'encaisser pour maintenir la pente, principalement dans la section orientale. Il en résulte que les sédiments alluviaux et ceux des parties peu profond de l'ancienne mer de Champlain sont maintenant à des dizaines de mètres au-dessus du niveau du fleuve et forment des terrasses élevées et basses.

Les terrasses élevées sont plus visibles au nord du fleuve et se trouvent à des altitudes variant entree 25 et 100 m (Cremer, 1979). Elles sont composées de sable; les structures internes indiquent qu'il s'agit de dépôts liés à l'action des vagues et des courants. Ces dépôts s'enfoncent imperceptiblement dans les sédiments sous-jacents de la mer de Champlain,

mais l'absence de fossiles marins laisse supposer une mise en place par des eaux douces. Les sables des terrasses élevées ont une épaisseur variant de 1 à 25 m et indiquent le remplissage rapide des creux topographiques par d'abondants apports de sédiments grossiers au cours de la période non marine initiale. Elles correspondent parfois avec les grands deltas résiduels comme à Trois-Rivières et à Lanoraie. La terrasse basse appelée la terrasse Mic-Mac par Goldthwait (1933), est composée de sables alluviaux fins accompagnés de limons et de rares galets. Cette terrasse se trouve généralement entre 5 et 10 m au-dessus du niveau normal du fleuve; elle témoigne ainsi de la persistance continuelle du soulèvement postglaciaire dans cette région. Cette basse terrasse sert actuellement de site à bien des agglomérations de la rive sud du Saint-Laurent.

APERÇU DE L'ÉVOLUTION GÉOLOGIQUE DU SAINT-LAURENT

Évolution pré-glaciaire

Il n'existe aucune roche ou dépôt pour la période allant du Paléozoïque inférieur au Quaternaire. Cependant, l'activité tectonique qui a donné naissance au fossé localisant la vallée du Saint-Laurent s'est probablement produite vers le milieu du Paléozoïque, et a été réactivée beaucoup plus tard au cours du Crétacé caractérisé par une la période de volcanisme dans les basses-terres du Saint-Laurent. Le déplacement vertical total du fossé atteint plus de 400 m par endroit. Ce fait combiné à l'absence de roches non volcaniques ultérieures au Dévonien (300 millions d'années) suppose que la région a été exposée aux agents subaériens pendant la majeure partie de

ce long intervalle, puisqu'on y retrouve un réseau fluviatile bien dévellopé et arrivé à maturité (Spencer, 1891). Goldthwait (1933) a attiré l'attention sur l'absence générale de connaissances relatives à l'emplacement du chenal préglaciaire incisé dans l'assise rocheuse. Cependant, il a remarqué que la gorge profonde creusée dans l'assise rocheuse (30 à 45 m sous le niveau actuel de la mer) suivi par le fleuve dans la région en face de Québec est la preuve que dans des temps préglaciaires, le Saint-Laurent occupait à peu près le même lit que maintenant et que sa forme et son orientation écartent toute possibilité d'excavation par le rabottage du glacier.

Evolution glaciaire et postglaciaire

Au cours du Quaternaire, caractérisé par une succession de périodes glaciaires et interglaciaires, la vallée du Saint-Laurent a été occupée tour-à-tour par des rivières, des lacs, des glaciers, et la mer. Actuellement, elle subit l'action d'un système de drainage fluvial. La principale action des glaciers est d'ordre sédimentaire, d'épais dépôts ayant été mis en place en peu partout l'ensemble de la vallée. Le Saint-Laurent d'aujourd'hui date de la fin de la phase Champlainienne qui s'est terminée il y a moins de 10 000 ans. Le Saint-Laurent a pris forme à mesure que les eaux marines et estuariennes se sont retirées vers l'est suite au soulèvement isostatique postglaciaire. Petit à petit, il s'est approché du lit qu'il occupe actuellement. Au début, il coulait dans le lac à Lampsilis formé par le blocage de la vallée par le paléo-delta de la

rivière Saint-Maurice. On a identifié plusieurs chenaux reliques du fleuve près de l'Assomption (Lasalle, 1966) et Saint-Paul, près de Trois-Rivières. Crémer (1979) a présenté des preuves d'un déplacement progressif du fleuve vers le nord dans le bief en amont de Deschaillons (entre Trois-Rivières et Québec). Ce déplacement est apparemment causé par le fait que le fleuve y suit le contact entre l'assise rocheuse à inclinaison vers le nord et les minces couches de sédiments glaciaires qui la recouvre. L'érosion progressive de ces sédiments cause le déplacement graduel du chenal du fleuve vers le nord.

En raison du soulèvement qui se poursuit et de l'érosion du delta, le Saint-Laurent a continué de creuser son lit pour maintenir sa pente, principalement dans les sections aval plus à l'est. Les sédiments alluviaux initiaux sont donc conservés bien au-dessus du niveau du fleuve sous forme de terrasses. Cette vallée encaissée donne à certaines sections du fleuve une apparence de jeunesse malgré son âge géologique ancien.

APERÇU DES PROCESSUS ACTUELS ET DES SÉDIMENTS

L'essentiel de l'activité des processus géologiques actuels dans le Saint-Laurent concerne d'une part l'érosion des berges et du fond et, de l'autre, le transport et le dépôt de sédiments. On doit ajouter à ces derniers, les processus antropiques comme la régulation du débit, le dragage du chenal, l'entretien des ouvrages de contrôle de la voie

maritime, les quais et ouvrages portaires, etc. A plus long terme, parmi les processus impliqués dans l'évolution du Saint-Laurent, mentionons le soulèvement postglaciaire différentiel de ls croûte terrestre, et les mouvements néotectoniques, principalement les séismes. Étant donné l'utilisation du fleuve et des Grands-Lacs dans son cours supérieur comme réceptacle des déchets humains, municipaux et industriels, dont certains sont toxiques, la majeure partie des sédiments transportés par le et qui se déposent au fond sont plus ou moins contaminés. Par contre, les sédiments quaternaires qui constituent les berges et le lit du fleuve à bien des endroits sont relativement exempts de contaminants. Pour bien comprendre les problèmes environnementaux du Saint-Laurent et trouver les mesures correctives adéquates, il importe donc de connaître les quantités relatives de chacun des contaminants unclus dans la charge du fleuve ainsi que leur mode de dispersion.

Malheureusement, les études faites jusqu'à présent sur les sédiments comportent d'importantes lacunes. Bien qu'il y ait eu de nombreux travaux d'excellente qualité sur la majeure partie de la section québécoise du fleuve, les données demeurent confinées dans des rapports inédits et éparpillés, ce qui ne permet pas d'obtenir une image complète et satisfaisante du fleuve dans son entier. Le ministère fédéral de l'Environnement a récemment encouragé les études dans l'ensemble du fleuve. A titre d'exemple, mentionons celles de N.A. Rukavina, A. Mudroch et K. Lum de l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE), et de H. Sloterdijk, du Centre Saint-Laurent, à Montréal. Le chapitre suivant résume les résultats et les conclusions de ces travaux mentionnés dans la

bibliographie ci-jointe.

Pour les raisons practiques, le Saint-Laurent a été divisé en deux secteurs fort différents du point de vue physiographique : le fleuve et l'estuaire. Chaque secteur correspond à des changements importants au niveau du régime physique, sédimentologique ou géologique du fleuve. Le secteur fluvial a été subdivisé en deux zones: la zone des rapides et la zone alluviale, tandis que le secteur estuarien comprend les trois segments habituels: le haut estuaire, le moyen estuaire, et le bas estuaire, appelé aussi l'estuaire maritime (figure 1).

Le secteur fluvial: de Kingston à Trois-Rivières

a. Le secteur des rapides: de Kingston à Montréal

La zone des rapides s'étend sur environ 250 km; elle correspond à une baisse d'altitude de près de 70 m du niveau du fleuve. Étant donné la pente relativement forte du fleuve et la faible profondeur du substrat rocheux, le Saint-Laurent est caractérisé par d'importants rapides. L'arnachement des rapides pour l'hydroélectricité et l'amenagement d'une voie navigable ont necessité une aperturbation physique considérable du mileux naturel, particulièrement entre Montréal et Cornwall. La voie maritime du Saint-Laurent (écluses, chenaux dragés) et les barrages hydroélectriques (le barrage Moses-Saunders à Cornwall et le barrage de Beauharnois près de Montréal) sont les principaux ouvrages d'ingénierie réalisés. Ces deux derniers barrages régularisent également le niveau du

fleuve et en modifient considérablement le régime.

A Kingston, à l'embouchure du lac Ontario, la charge en suspension n'est en moyenne que de 1 630 tonnes/jour (tableau 1; Frenette et Larinier, 1973). Comme il n'y a aucun affluent important dans la zone en aval de Cornwall et le lit est rocheux, la charge en suspension est très faible (4 800 t/j ou 1 750 x 10^3 tonnes/an) à Cornwall. La majeure partie de cette charge est probablement due à l'érosion des berges constituées d'une mince couche de sédiments quaternaires.

A l'exception des parties élargies du fleuve derrière les barrages artificiels et les ouvrages de régulation du niveau du fleuve, il y a très peu de sites favourable à la sédimentation. Ces "lacs riverains" sont : le lac Saint-François près de Cornwall et le lac Saint-Louis près de Montréal (figure 1). En grande partie en raison des vitesses relativement élevées de l'écoulement des eaux du fleuve et de l'effet de la navigation presque constante, c'est la principale zone d'érosion et de transport des sédiments, notamment dans le chenal du fleuve et en amont des barrages de régulation à Cornwall. Néanmoins, Sérodes (1976) et CENTREAU (1973) font remarquer que des sédiments fins, plus ou moins contaminés, sont déposés près des rives basses du fleuve où les faibles courants et la végétation abondante constituent un facteur favourisant la sédimentation. Il existe cependant une divergence d'opinion sur le rôle de piège à sédimentation de ces deux ensembles lacustres. EQuant aux quantités de contaminants évacués dans le fleuve en amont de Montréal, il est important de vérifier si ces lacs retiennent ou non les sédiments pollués. Sérodes (1976) a montré que

d'importantes sections de ces secteurs contenaient des sédiments contaminés jusqu'à un certain point par des métaux et des matières organiques toxiques.

D'après Sérodes (1976), l'abaissement de la vitesse de l'écoulement des eaux du fleuve dans le lac Saint-François entraîne le dépôt de la majeure partie des sédiments du fleuve. De plus, CENTREAU (1973; p. 87) a souligné que la baisse marquée au niveau des sédiments en suspension mesurés dans le Saint-Laurent entre Cornwall et Valleyfield résultait de l'accumulation des sédiments dans le lac Saint-François. Ce rapport attire également l'attention sur les fréquents travaux de dragage nécessaires pour maintenir une profondeur garantissant une navigation sécuritaire dans ces secteurs, ce qui constitue une preuve additionelle l'accumulation des sédiments à cet endroit. Frenette et Verrette (1976) ont conclu que la majeure partie de l'apport relativement élevé de sédiments en suspension de la rivière Châteguay est déposée dans le lac Saint-Louis. Ils soutiennent également que la quantité relativement faible de sédiments entrant dans le lac Saint-Louis par la rivière des Outaouais est due principalement à l'effet de piégeage du barrage de Carillon juste en amont. Des relevés sur les sédiments du fond et sur les pièges à sédiments pour ce lac sont en cours et devraient être publiés prochainement (N.A. Rukavina et N.M. Charlton, INRE, communications personnelles, 1988). Il est intéressant de remarquer que la charge des sédiments en suspension mesurée à Varennes, immédiatement à l'est de Montréal (tableau 3), est presque identique à celle de Cornwall. Lorsque l'on tient compte des apports situés dans ce secteur (rivière des Outaouais et rivière Châteaugay), ce rapport vient appuyer la conclusion

selon laquelle il y a un abandon net de sédiments dans le lac Saint-Louis, du moins à certaines périodes de l'année.

Par contre, Sloterdijk (1983) et Couillard (1982) soutiennent que la prédominance des dépôts de sable grossier dans ces lacs indique que ces lacs ne constituent pas d'importants pièges sédimentaires. Cette conclusion s'appuyie sur les resultats de carottages faits dans le lac Saint-Louis par Rukavina (1986). L'épaisseur des sédiments récents recouvrant les dépôts quaternaires et le substrat rocheux y est inférieure à 15 cm; elle est encore moindre dans le chenal navigable. Ces données supposent que le lac Saint-Louis agit à long terme comme un zone de transit pour les sédiments provenant des secteurs à l'amont.

b. Le secteur alluviale de Montréal à Trois-Rivières

Dans le secteur alluvial, le Saint-Laurent a une pente plus douce et son tracé demeure assez rectiligne. En raison de la présence de quelques grandes îles, comme l'île de Montréal, le cours d'eau se divise en deux. Le chenal principal longe la rive sud, et est maintenu à une profondeur d'environ 11 m grâce à des travaux de dragage. Les apports des affluents du coté nord du (comme la rivière des Outaouais et la rivière Assomption) ne se mélangent presque pas avec les eaux du cours principal du fleuve sur de longues distances. Elles ont plutôt tendance à suivre le chenal septentrional. Bien que des sédiments se déposent le long des rives du fleuve, le débit des chenaux, assisté par les crues saisonnières, est

suffisant pour entraver l'accumulation des sédiments, de sort que le fond est constitué par l'argile de la mer de Champlain. Le chenal septentrional est toutefois tapissé par des matériaux plus grossiers, probablement apportés par les principaux affluents susmentionnés, ou encore provenant de l'érosion des berges, qui est intense dans ce secteur. Les études sommaires sur les sédiments de fond à cet endroit (Crémer, 1979) et les travaux de dragage intensifs rendent toute autre généralisation de la répartition des sédiments de surface douteuse.

Le principal site d'accumulation des sédiments dans ce secteur semble être le lac Saint-Pierre (Crémer, 1979; Sérodes, 1976). En plus du Saint-Laurent lui-même, les sédiments en suspension sont apportés dans cet élargissement du fleuve par d'importants affluents comme les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet. La majeure partie des sédiments transportés par le Saint-Laurent sont déposés dans le voisinage du delta de Sorel, à l'entrée du lac Saint-Pierre (fig. 1), ce qui explique la présence d'un grand nombre d'îles à cet endroit. Il existe d'autres sites de sédimentation alluviale (sable fin et limon) le long de la rive méridionale du lac Saint-Pierre qui sont alimentés principalement par les quatre affluents susmentionnés. L'épaisseur de ces dépôts diminue vers le centre du lac où les sédiments de fond sont caractérisés par une mince couche de matériaux alluviaux recouvrant l'argile de la mer de Champlain. En réalité, la partie centrale du lac Saint-Pierre semble retenir très peu de sédiments actuels (Sérodes, 1976). Par ailleurs, les dépôts de sable grossier et de gravier ne sont importants que près de l'embouchure du lac, ce qui indique une érosion du fond due à l'accroissement du courant et à

l'action des vagues à cet endroit. La majeure partie ne ce matériel grossier est cependant produite par l'érosion du delta émergé de la rivière Saint-Maurice qui forme le rivage septentrional.

Le secteur estuarien: de Trois-Rivières au Saguenay

Le Saint-Laurent estuarien est subdivisé en trois sections : l'estuaire fluvial, ou haut estuaire, l'estuaire moyen et l'estuaire maritime (figure 2). Cette division de l'estuaire diffère de celle utilisée par d'autres auteurs (d'Anglejan et Brisebois, 1974; d'Anglejan et al., 1973), mais réjoint les subdivisions anterieures de plusieurs auteurs (Dionne, 1963). Comme la présente étude concerne le secteur en amont du Saguenay, il ne sera question ici que des deux premières sections - l'estuaire fluvial et l'estuaire moyen.

a. L'estuaire fluvial: de Trois-Rivières à Québec

Le principal changement qui s'opère dans le Saint-Laurent entre Trois-Rivières et Québec est l'effet croissant des marées. Le fleuve est caractérisé par un chenal plus sinueux, une largeur plus variable, et la topographie du fond, caracterisée par une alternance de hauts-fonds et de chenaux, est plus complexe. Dans la région près de Trois-Rivières, le chenal est plutôt profond et nécessite de fréquents travaux de dragage. Près de Québec, le fleuve atteint une largeur minimale et des profondeurs maximales. Il occupe son chenal original creusé dans le substrat rocheux.

En raison de l'effet des marées, principalement du reflux, la vitesse du courant est relativement élevée (60 cm/s à 3 m/s) selon la phase de marée et l'endroit où la vitesse est mesurée (Cremer, 1979). Lorsqu'on ajoute la turbulence produite par le passage des navires dans cette secteur relativement étroite du fleuve, il n'est pas surprenant de constater qu'elle est caractérisée par une érosion nette, aussi bien dans le chenal que sur les rives. Les sédiments de fond consistent en roches en place ou en matériaux résiduels très résistants allant du sable grossier à des résidus grossiers. Cependant, comme le chenal doit être regulierement dragé, il est évident qu'il y a transport de matériaux par les forts courants et la glace et abandon dans le chenal à cet endroit. La faible sédimentation fine à cet endroit est confinée aux zones locales d'eau morte le long du rivage. Les processus et les sédiments propres à cette section sont décrits plus en détail dans Pelletier (1982) et Long et al. (1980).

b. L'estuaire moyen: de Québec au Saguenay

L'estuaire moyen comprend la section l'eau saumâtre du fleuve dominée par la marée. Outre l'influence des marées, cette zone est caracterisée par un élargissement brusque du fleuve qui passe de moins de 5 km à Québec à plus de 20 km à l'île-aux-Coudres, 100 km en aval. A Québec, le fleuve se divise en 2 chenaux distincts de part et d'autre de l'île d'Orléans. Le chenal sud, plus large mais moins profond, transporte environ 90% de l'écoulement total. Au delà de l'île d'Orléans, le chenal sud se subdivise

en deux. Le bras septentrional s'oriente vers le nord-est pour rejoindre le chenal nord, relativement profond et creusé dans le substrat rocheux. Le bras transversal septentrional et le chenal nord constituent la principale voie navigable à l'est de l'île d'Orléans. D'importants travaux de dragage sont nécessaires pour maintenir le bras transversal septentrional ouvert à la navigation. Le chenal sud moins profond se poursuit en aval de Québec jusqu'aux environs de Saint-Jean-Port-Joli; de là il tourne vers le nord pour se fondre avec le chenal nord au large de l'île aux Coudres. Plus en aval, l'unique chenal laurentien se subdivisé encore une fois en deux chenaux en raison des hauts fonds et des îles. La sinuosité et l'irrégularité de l'écoulement des eaux du fleuve créent des zones abritées d'accumulation de sédiments fins sur les battures intertidales riveraines et autour des îles. Ces zones peu profondes sont exposées à marée basse sous forme de grandes battures boueuses, comme près de Montmagny sur la rive sud (Dionne, 1985; Sérodes, 1980).

La dynamique des sédiments dans cette région reflète le milieu complexe énergétique de la circulation dans l'estuaire moyen. En plus des courants fluviaux unidirectionnels et des inversions tidales semi-diurnes, l'effet des vagues devient également de plus en plus important. La circulation est généralement antihoraire, avec un transport net vers l'intérieur le long de la rive nord, et vers l'extérieur le long de la rive sud. Les sédiments de fond de l'estuaire moyen sont distribués de façon complexe, de vastes zones étant couvertes par des matériaux résiduels grossiers ou des l'argiles postglaciaire (Brisebois, 1975; d'Anglejan, et al., 1974). Sérodes (1980) et Dionne (1985) concluent tous deux que la sédimentation dans les zones

intertidales a un caractère saisonnier et qu'elle est contrôlée par la présence saisonnière de végétation sur les battures. L'accumulation nette se produit au cours des mois de juin à septembre, alors que l'érosion prédomine à l'autonne et au printemps. Les autres mois sont marqués par une quasi-stabilité bien qu'il y ait aussi sédimentation au cours de l'hiver sous le couvert de glace (Dionne, 1985a; 1988a). Sérodes et al. (1983) et Sérodes et Troude (1984) évaluent l'accumulation au cours des mois d'été à 2,7 x 10^6 tonnes. D'autres zones de dépôts de sédiments fins ont été observées dans le chenal sud et dans le chenal nord de l'île d'Orléans. Des études de ces sédiments fins (CENTREAU, 1975) indiquent qu'ils ont des teneurs élevées en césium, DDT et matières organiques. Les taux de sédimentation à long terme mesurés sont de l'ordre de 1 mm/an.

Dans les zones plus exposées aux courants et aux fortes marées, des sédiments plus grossiers du fond sont transportés en grande quantité. Entre l'île d'Orléans et l'île-aux-Coudres, il y a une large plate-forme à faible profondeur, moins de 10 m. Cette plate-forme est recouverte des bancs et des dunes de sable mouvantes dont certaines ont des lonngeurs de 100 m et des amplitudes de 12 m (d'Anglejan et al., 1973). Le matériel grossier est en grande partie constitué de dépôts résiduels érodés des sédiments glaciaires anciens. Dans certaines zones peu étendues, les sédiments grossiers contiennent aussi une importante fraction d'elements fins. Dans tous les cas, la présence de dépressions non remblayées dans le chenal du nord suppose que la sédimentation nette est plutôt faible et que la majeure partie de la charge passe tout droit dans l'estuaire moyen pour se déposer dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

(d'Anglejan, et al., 1973). Cette conclusion s'appuie sur la faible épaisseur des couches de sédiments modernes (presque toujours inférieure à 20 m) observé par d'Anglejan et ses collègues au-dessus de la surface glaciaire.

L'importance de la région entre Québec et l'île-aux-Coudres déroule du fait qu'il s'agit d'une zone de transition entre les eaux marines et fluviales. On y observe une forte turbudité, et les processus reliés à la salinité, comme la floculation et l'aggrégation des sédiments s'intensifient, modifiant considérablement les caractéristiques de la mise en place des sédiments. Cette zone d'augmentation subite du taux de turbidité est appelée "zone de turbidité maximale" (ZTM). Soucy et al. (1976) ont été les premiers à décrire la ZTM de l'estuaire et à la lier à la floculation et au recyclage des sédiments dus à la circulation gravitationnelle résiduaire, principalement en ce qui a trait au recyclage. D'Anglejan et Smith (1973) ont aussi lié la répartition des sédiments en suspension, à la surface et au fond, aux différences de densités verticales dans un cycle de marées. L'augmentation de la turbidité est accrue par les forts courants inverses typiques de ce secteur estuarien. Pour Kranck (1979), a déclaré que l'augmentation de la turbidité est maintenue par l'asymétrie au niveau des courants de marées, dans lesquels il y a un courant résiduaire net le long du fond qui est dirigé en amont (lors de la marée montante) à l'encontre de l'écoulement des eaux du fleuve. Cette explication a été confirmée par des études plus récentes (Hamblin et al., 1988) de la concentration des sédiments en suspension et des profils de courants sur plusieurs cycles de marées.

D'Anglejan et Ingram (1976) ont trouvé d'une part que pour le transport des sédiments, l'advection horizontale est plus importante que la remise en suspension locale au cours d'un cycle de marée dans les parties les plus profondes de l'estuaire, et, d'autre part, que les concentrations maximales se trouvaient à mi-profondeur plutôt que près du fond. Silverberg et Sundby (1979) ont étudié les sédiments de toute la section de l'estuaire jusqu'au Saguenay. Ils ont remarqué que la turbidité était maximale juste après la marée montante. Ils ont remarqué que la remise en suspension locale était plus importante que le transport horizontal dans les parties moins profondes en aval.

D'Anglejan et al. (1973) ont mesuré des concentrations moyennes des sédiments en suspension atteignant 50 mg/L près de Québec. D'autres chercheurs ont enregistré des concentrations moyennes atteignant 70 mg/L (Soucy et al., 1976), et une concentration maximale de 400 mg/L (Sérodes, 1978). Ces valeurs diminuent en direction de la mer pour atteindre environ 2 mg/L à l'embouchure du Saguenay. Le front de turbidité coupe l'estuaire diagonalement (de l'est à l'ouest) à la hauteur de l'île-aux-Coudres. Sur ce front, la turbidité accrue semble être une caractéristique permanente (concentrations toujours supérieures à 10 mg/L).

L'étude au microscope des sédiments en suspension dans la zone de turbulence maximale a indiqué que le diamètre moyen des particules était d'environ 5 m, alors que quelques particules avaient un diamètre supérieur

à 20 m. Silverberg et Sundby (1979) ont constaté que la granulométrie était plus uniforme à l'intérieur de la zone de turbidité maximale que dans les sections en amont et en aval. Kranck (1979) a trouvé que dans la zone de turbidité maximale, la granulométrie modale variait de 10 à 20 m.

Les données susmentionnées sur la concentration des sédiments en suspension ainsi que la mesure de la vitesse de transport des sédiments dans l'estuaire près du fjord Saguenay donne un flux de transport solide total de 0,45 à 0,91 x 10^6 tonnes par année (d'Anglejan et al., 1973). Cette valeur est nettement inférieure aux 3,6 x 10^6 tonnes par année à Québec calculées par Holeman (1968; tableau 1). La différence pourrait indiquer une certaine sédimentation nette dans l'estuaire moyen entre ces deux endroits, probablement dans les chenaux et sur les importantes battures le long de la rive sud. Ces battures forment les sites de sédimentations les plus faciles à identifier dans l'estuaire moyen. Cependant, des observations de la teneur en boue de la couche de glace qui recouvre les battures autour de Montmagny ont également démontré que d'importantes quantités de sédiments fins (5 à 6 x 10^6 tonnes/an) incorporés dans la glace pouvaient être transportées hors de ces régions lors de la débâcle et de la dérive des glaces au printemps (Dionne, 1984a; 1984b). Ces sédiments fins liés à la glace proviennent de la surface des battures et du gel direct de l'eau au large, dans la zone de turbidité maximale. De plus, Dionne a identifié d'autres processus d'érosion importants agissant sur les battures, notamment l'utilisation intense de ces endroits par l'homme et la sauvagine (Dionne, 1985f; 1985d). Le bilan sédimentaire de l'estuaire moyen montre qu'il y a quasi-équilibre entre les entrées et les sorties de

sédiments dans cette partie du fleuve de sort qu'il y a présentement très peu de dépôts permanents de vase dans ce secteur.

Dans l'autre partie de l'estuaire moyen, c'est-à-dire entre La Pocatière et le Saguenay, les données sur les sédiments sont plus rares. Les matériaux de fond semblent être dominés par des affleurements du substrat rocheux ou des sédiments quaternaires, ou des sables grossiers et des graviers (Brisebois, 1975; Couillard, 1982). On croit que ces sables grossiers et ces graviers proviennent de matériaux glaciaires locaux. Ces matériaux pourraient provenir de secteurs en aval de l'estuaire moyen étant donné le transport résiduel net de matériaux de fond vers l'amont à cet endroit. Les deux principaux chenaux (sud et nord) sont séparés par les hauts-fonds du banc des Anglais et de l'île aux Lièvres. Les dépôts fins qui s'accumulent ont une caractère passager ou saisonnier. Le chenal le plus profond, appelé bassin de l'île aux Lièvres par d'Anglejan (1978), atteint des profondeurs de plus de 100 m et est apparemment le principal site de mise en place des sédiments.

ANNEX 1

BIBLIOGRAPHIE DES TRAVAUX SUR LA GÉOLOGIE, LES SÉDIMENTS,

ET LES PROCESSUS PHYSIQUES DU SAINT-LAURENT

AGNOLO, (1971): Dune Study-Soundings -Ile d'Orleans to Ile aux Coudres, Department of Transport of Canada, St.Lawrence Ship Channel Division, Montreal.

ALLARD, M. (1981): L'anse aux Canards, Ile d'Orléans, Québec: évolution holocène et dynamique actuelle, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 35, p. 133-154.

ALLARD, M. et CHAMPAGNE, P. (1980): Dynamique glacielle à la pointe d'Argentenay, Ile d'Orléans, Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 34, p. 159-174.

ALLEN, W.T.R. (1964): Break-up and Freeze-up Dates in Canada, Canada Dept. of Transport, Meteo. Br., CIR-4116, ICE-17, 201 p.

ANONYMOUS. (1955): The St. Lawrence Seaway: The Realization of a Mighty Dream. Distillers Corporation-Seagram Ltd., Montreal.

ANONYME (1974): Hydrologie du bassin du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Montmagny, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 145 p. (Annexe A: 137 p.; Annexe B: 159 p.).

ANONYME (1974): Aspects physiques et sédimentologiques entre Varennes et Montmagny, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 266 p.

ANONYME (1974): Aspects physiques et sédimentologiques entre Varennes et Montmagny, tome II, Annexe A, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université laval, 19 p.

ANONYME (1974): Aspects physiques et sédimentologiques entre Varennes et Montmagny, tome III, Annexe B, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 219 p.

ANONYME (1975): Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 161 p.

ANONYME (1975a): Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles, Section II, résultats des analyses et des corrélations, Etude du fleuve Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 130 p.

ANONYMOUS. (1975b): Canada Water Year Book 1975: St. Lawrence River basin. Environment Canada, Ottawa.

ANONYMOUS (1975c): Hydrological Atlas of Canada. 22. Annual large river flow. Fish. and Environ. Canada (IWD), Ottawa.

ANONYME (1976): Qualité des sediments. Environment Canada, Service de la gestion de l'environment; Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent: 49

pages.

ANONYME (1977): Etude géotechnique - Quai de Tadoussac (Anse Tadoussac), Laboratoire d'inspection et d'essais inc., Rapport non publié QG-730/0, soumis au Ministère des travaux publics du Canada, 29 p.

ANONYME (1978): Préparation d'un guide relatif au dragage et à l'elimination de sédiments contaminés dans le Saint-Laurent. Roche Associés Ltée Groupe Conseil, Ste-Foy, Quebec.

ANONYMOUS (1985a): Quebec: Historical water levels summary to 1983. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Longueuil, Quebec.

ANONYMOUS (1985b): Quebec: Historical streamflow summary to 1984. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Longueuil, Quebec.

ANONYME (1986): Project Archipel: Rapport de faisabilité. La régulation des eaux et les aménagements en rive. Governement du Québec. Min. des Affaires Municipales, Montréal.

BASHAM, P.W., WEICHERT, D.H., and BERRY, M.J. (1979): Regional assessment of seismic risk in eastern Canada. Seismol. Soc. Am. Bull 69: 1567-1602.

BAER, A.J., POOLE, W.H., and SANFORD, B.V. (1977): Rivière Gatineau, Quebec - Ontario. Geological Survey of Canada Map 1334A: Sheet 31.

BANINEAU, L. (1984): L'influence des facteurs physiques sur la dynamique glacielle du fleuve Saint-Laurent entre Grondines et Lauzon pour l'année 1980 - 81. Unpubl. Bacc. Mem., Université Laval, Dept. Géographie, 78 p.

BELAND, J. (1976): Impact des tributaires sur la qualité des eaux du fleuve, Revue L'Ingénieur, mai-juin 1976, no 313, p. 5-8.

BELLAVANCE, D. (1986): Aperçu géomorphologique de Pointe-au-Platon, Haut estuaire du Saint-Laurent, Québec, Université Laval, Dépt. géogr., mémoire de baccalauréat non-publié, 91 p, 1 carte h.t.

BERNIER, F., and OCCHIETTI, S. (1989): Le complexe glaciaire du cap Charles antérior au til de Gentilly, vallée moyenne du Saint-Laurent, Québec. Géog. Phys. Quatern., Vol. 43:

BESRE, F., and OCCHIETTI, S. (1989): Les varves de Deschaillons, les rythmites de Saint-Maurice et les rhythmites de Leclercville du Pleistocene supérior de la vallée du Saint-Laurent. Géog. Phys. Quatern., Vol. 43:

BINDA, G.G.; DAY, T.J.; and SYVITSKI, J.P.M. 1986. Terrestrial sediment transport into the marine environment of Canada: Annotated bibliography and data. Environment Canada, IWD, Sediment Survey Report IWD-HQ-WRB-SS-86-1, 59 p.

BLANCHARD, R. (1931): Le rebord sud de l'estuaire St.-Laurent. Etud. Can. I, Rev. Geogr. Alp. 19: 5-243.

BONENFANT, R. (1986): Géomorphologie littorale de la baie Saint-Paul, Charlevoix, Québec, Université Laval, Dépt. géogr., mémoire de baccalauréat non-publié, 115 p., 1 carte h.t.

BOUCHER, R. (1961): Report on siltation, North Channel below Quebec City, Dept. Transport, Canada, File 8958-DVA, Vol. 3-B.

BREAKEY, E.C. (1975): Sedimentology of the Lower Paleozoic shelf-slope transition, Lévis, Québec, Montreal, thèse de maitrise, Univ. McGill, 190 p.

BRISEBOIS, M. (1975): Distribution des sédiments récents dans l'estuaire du Saint-Laurent, thèse de maitrise en Sciences, Marine Science Centre, McGill University, Montreal, 166 p. (unpubl.)

BROCHU, M. (1954): Un problème des rives du Saint-Laurent: blocaux erratiques observés à la surface des terrasses marines, Rev. Géomorph. Dyn., Vol. 5, no 2, p. 76-82.

BROCHU, M. (1957): Dynamique actuelle de la glace sur les rives du Saint-Laurent (érosion et sédimentation), C.R. Acad. Sci. Paris, Vol. 244, p. 2534-2536.

BROCHU, M. (1957): Movement of boulders and other sediments by ice on the tidal flats of the St.Lawrence River, Canada, Dept. National Defence, D.R.B., Directorate of Physical Res., Report no G-1, 8 p.

BROCHU, M. (1960): Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive de l'estuaire et de la partie nord-est du Golfe du Saint- Laurent, hiver 1957-1958, Ottawa, Canada Dept. Mines and Technical Surveys, Geogr. Paper, no 24, 93 p.

BROCHU, M. (1961): Déplacement de blocs par la glace le long du Saint-Laurent, Ottawa, Etude géographique, no 30, 27 p.

BROCHU, M. (1963): Commentaires à la note de Monsieur Jean-Claude Dionne sur l'Estuaire du Saint-Laurent, Zeitschrift fur Geomorphologie NFB 7, Heft, IS, p. 36-47.

BRODEUR, D. (1982): Morphologie et histoire quaternaire de l'Ile aux Coudres, thèse de maitrise non publiée, Département de géographie, Université Laval, Québec, 256 p.

BRODEUR, D. (1987): L'influence de la glaciellisation et des processus cryergiques sur le modelé des plates-formes littorales du haut estuaire du Saint-Laurent, Québec, Canada. In : Comptes rendus de la Réunion de la Commission pour l'étude des phénomènes périglaciaires (Comité National de Geographie) à Fontainebleau (France), les 11-12 janvier 1986, Bulletin de Régionalisation du

périglaciaire, R. Raynal (éd.), Strasbourg (France), 11-12: 5-17.

BRODEUR, D. (1987): Le rôle des processus périglaciaires dans l'érosion des rives du haut estuaire du Saint-Laurent. Proc. Can. Coastal Engineering Conf., Quebec, ACROSES, NRC, pp. 411-425.

BRODEUR, D. et ALLARD, M. (1983): Les plates-formes littorales de l'île aux Coudres, moyen estuaire du Saint-Laurent, Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 37, no 2, p. 179-195.

BRODEUR, D. et ALLARD, M. (1985): Stratigraphie et Quaternaire de l'Ile aux Coudres, estuaire moyen du Saint-Laurent, Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 39, no 2, p. 183-197.

BRODEUR, D. et DIONNE, J.-C. (1985a): Les actions du gel et des glaces flottantes sur le modelé des plates-formes rocheuses intertidales du haut estuaire du Saint-Laurent, Annales de l'ACFAS, Vol. 52-53, p. 172.

BRODEUR, D. et DIONNE, J.-C. (1985b): Les plates-formes littorales de l'estuaire du Saint-Laurent: un type particulier de strandflat, Association Canadienne des Géographes, Congrès annuel, mai 1985, Université du Québec à Trois-Rivières, résumés des communications, p.31.

BRUNEL, P. (1970): Bibliographie choisie sur l'océanographie de l'es- tuaire du Saint-Laurent, Rev. Géogr. Montréal, Vol. 24, p. 277-282.

BRUNEL, P. (1970): Les grandes divisions du Saint-Laurent, 3ième commentaire, Rev. Géogr. Montréal, Vol. 24, no 3, p. 291-294.

BRUNEL, P. (1971): Oceanographic studies in the St.Lawrence Estuary in 1970-1972: A new Interuniversity Program, 2nd Gulf of St.Lawrence Workshop, Bedford Inst., N.S., 1970, p. 131-145.

BRUNSKILL, G.J. (1974): Sediment yield from tributaries to the McKenzie River, N.W.T., Canada. Geological Society of America, Abstracts with Programs 6:1025-1026.

BUI, N.V. (1971): Etude de l'effet Coriolis dans l'Estuaire du St-Laurent, Université de Montréal, Ecole polytechnique, thèse de maitrise, 106 p.

BUSSIERE, L., MEHRTENS, C.J., BELT, E.S. et RIVA, J. (1977): Les faciès de plate-forme, de talus et de flysch (fin de l'Ordovicien moyen) entre Baie Saint-Paul et La Malbaie, Québec, in : LaSalle, P. et Béland, R. (Eds): New England Intercollegiate Geological Conference; Livret-guide des excursions dans la province de Québec, Excursion B-9, 34 p.

CANADA (1957): St.Lawrence Pilot, Canada, Dept. Min. and Tech. Surveys, Can. Hydrogr. Service, 34 p.

CANADA (1957): Renseignements sur le chenal maritime du Saint-Laurent entre Pointe-au-Père et Montréal, Canada, Dept. Transport, 138 p.

CANADA (1977): Instructions nautiques, Golfe et fleuve Saint-Laurent, caractéristiques et développement, Revue L'Ingénieur, no 313, 45 p.

CANADA-QUEBEC (1978): Rapport du Comite d'etude sur le fleuve Saint-Laurent., Quebec.

CANTIN, M. (1974): Marais intertidaux de la région de Kamouraska, Service canadien de la faune, Environnement Canada, rapport mimeog., 13p.

CENTREAU (1973): Etude du fleuve Saint-Laurent: Troncon Cornwall - Varennes. Aspects physiques et sedimentologiques. Env. Canada/Regie des eaux duuebec, Quebec.

CENTREAU (1974): Etude du fleuve Saint-Laurent: Troncon Varennes - Montmagny. Aspects physiques et sedimentologiques. Env. Canada, Transport Canada/Quebec Serv. Protect. Envir., Rich. Naturelles:.

CENTREAU (1975): Etude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent, entre Québec et Trois-Pistoles, Univ. Laval, Québec, Centre de recherches sur l'eau, Rapp. CRE-75-14, 154 p.

CERCEAU, J. et OUELLET, Y. (1974): Modèle mathématique pour l'étude de la variation cyclique de la salinité dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, Rapport no CRE-74-07, CENTREAU, 112 p.

CHAMPAGNE, P. (1978): Evolution littorale et dynamique glacielle, Pointe d'Argentenaye, Ile d'Orléans, Québec, Univ. Laval, Dépt. de géogr., thèse de maitrise non publiée, 124 p.

CHAMPAGNE, P., DENIS, R. et LEBEL, C. (1983): Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, Rapport canadien des sciences halieutiques et aquatiques no 1711, Pêches et Océans Canada, Dir. de la recherche sur les pêches, Québec, 67 p.

CHAPMAN, D.H. (1937): Late-glacial and post-glacial history of the Champlain Valley, Am. Jour. Sciences, Vol. 234, p. 89-124.

CHAUVIN, L; MARTINEAU, G; and LASALLE, P. (1985): Deglaciation of the Lower St.Lawrence Region, Québec. In: H.W. Borns, et al. (Eds.) KLate Pleistocene History of northeastern New England and adjacent Quebec. Geol. Soc. Am. Sp. Paper 197, p. 111-123.

CLARK, T.H. 1947. Rapport sommaire sur les Basses-Terres au sud du Saint-Laurent. Ministère des Mines, Quebec, R.P. No. 204, 11 p.; Carte No. 1407.

CLARK, T.H. 1972. Région de Montréal. Ministère de Richesses naturelles, Québec, R.G. 152, Carte No. 1737, 244 p.

CLARK, T.H. et GLOBENSKY, Y. (1973): Portneuf et parties de St-Raymond de Lyster, Min. Rich. Nat. Quebec, Rapport géologique no 148, 110p

CLARK, T.H. et GLOBENSKY, Y. (1975): Région de Grondines, Min. Rich. Nat. Québec, Rapport géologique no 154, 159 p.

CLARK, T.H. et GLOBENSKY, Y. (1976): Région de Trois-Rivières, Min. Rich. Nat. Québec, Rapport géologique no 164, 87 p.

CLARK, T.H. et GLOBENSKY, Y. (1976): Région de Bécancour, Min. Rich. Nat. Québec, Rapport géologique no 165, 66 p.

CLARKE, J.R. (1973): Comparison of model and prototype velocities - St. Lawrence Estuary, National Research Council of Canada, Division of Mechanical Engineering, Ottawa, Canada, Tech. Rep. no LTR-HY-37, 28 p.

CONSEIL CONSULTATIF DE L'ENVIRONNEMENT (1979): L'utilisation des marais salés du Saint-Laurent entre La Pocatière et l'Isle-Verte, Gouv. du Québec, Min. de l'Environnement, décembre 1979, 5 p.

CLUIS, D., COUILLARD, D., LAPOINTE, R., POTVIN, L., ROUSSEAU, A., SASSEVILLE, J.L., TESSIER, A. (1975): Synthèse des études, tronçon Varennes-Montmagny, Etude du fleuve Saint-Laurent, INRS-eau, 141 p.

COSSA, D. and POULET, S.A. (1978): Survey of trace metal contents of suspended matter in the St.Lawrence estuary and Saguenay fjord, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, Vol. 35, p. 338-345.

COUILLARD, D. (1982): Géologie et géochimie du fleuve, de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent (Canada), Canadian Journal of Earth Sciences Vol. 19, no 7, p. 1492-1506.

COUILLARD, D. (1987): Qualité des sédiments en suspension et de fond du système Saint-Laurent (Canada). Hydrol. Sciences Journal, Vol. 32 (4): 445-467.

CREMER, M. (1979): Influence de l'histoire geologique du fleuve Saint-Laurent sur ses aspects morpho-sedimentaires actuels. Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Université de Bordeaux, Vol. 26: 35 pages.

D'ANGLEJAN, B.F. (1971): Submarine sand dunes in the St. Lawrence estu- ary, Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 8, p. 1480-1486.

D'ANGLEJAN, B.F. (1981): On the advection of turbidity in the St. Lawrence middle estuary, Estuaries, Vol. 4, p. 2-15

D'ANGLEJAN, B.F. (1981): Evolution post-glaciaire et sediments récents de la plate-forme infra-littorale, baie de Sainte-Anne, estuaire du Saint-Laurent, Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 35, p. 253-260.

D'ANGLEJAN, B. and BRISEBOIS, M. (1974): First subbottom acoustic re- flector and thickness of recent sediments in the upper estuary of the St. Lawrence river, Can. J. Earth Sci., Vol. 11, p. 232-245.

D'ANGLEJAN, B. and BRISEBOIS, M. (1978): Recent sediments of the St. Lawrence middle estuary, J. Sediment. Petrol., Vol. 48, p. 951-964.

D'ANGLEJAN, B. and INGRAM, R.G. (1976): Time-depth variations in the tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence estuary, Estuarine Coastal Mar. Sci., Vol. 4, p. 401-406.

D'ANGLEJAN, B. and INGRAHAM, R.G. (1984): Near-bottom variations of turbidity in the St.Lawrence Estuary. Estuarine, Coastal, and Shelf Science, Vol. 19: 655-672.

D'ANGLEJAN, B., INGRAM, R.G. and SAVARD, J.P. (1981): Suspended exchanges between the St. Lawrence estuary and a coastal embayment, Marine Geology, Vol. 40, p. 85-100.

D'ANGELJAN, B.F. and SMITH, E.C. (1973): Distribution, transport, and composition of suspended matter in the St. Lawrence estuary. Canadian Journal of Earth Sciences, 10: 1380-1396.

D'ANGLEJAN, B., SMITH, E.C. and BRISEBOIS, M. (1973): Modern sedimen- tation and suspended transport in the St. Lawrence Estuary. Proc. International Symposium on Estuarine and Continental Shelf Sedimentation, Bordeaux, France 1972: 9-17.

DANYS, J.V. (1977): Ice management of Lac St-Pierre, Comptes rendus, IIIe Conf. Nat. d'Hydrotechnique, Québec, 1977, p. 394-409.

DESAULNIERS, D. (1985): Les terrasses de la rive nord du Saint-Laurent entre Cap-Rouge et Donnacona, Québec, Univ. Laval, Dépt. géogr., mémoire de baccalauréat non publié, 89 p.

DESCHENES, J. and SERODES, J.-B. (1986): Recyclage des metaux et du phosphore par Scirpus americanus and Spartina alternatiflora dans l'estuaire du Saint-Laurent, (Québec). Naturaliste Can. Vol.113:143-151.

DIONNE, J.-C. (1963): Vers une définition plus adéquate de l'estuaire du Saint-Laurent, Zeitschrift fur Geomorphologie, Vol. 7, no 1, p. 37-47.

DIONNE, J.-C. (1968a): Schorre morphology on the south shore of the St. Lawrence estuary, American Journal of Sciences, Vol. 266, p. 380-388.

DIONNE, J.-C. (1968b): Morphologie et sedimentologie glacielles, littoral sud du Saint-Laurent, Zeitschrift fur Geomorphologie, Suppl. Bd. 7, p. 56-84.

DIONNE, J.C. (1968d): Action of shore ice on the tidal flats of the St. Lawrence River. Marine Sediments, 4:113-115.

DIONNE, J.C. (1970): Aspects morpho-sédimentologiques du glaciel, en particulier des côtes du Saint-Laurent. Environment Canada Laboratoire de Recherches forestieres, Ste-Foy, Quebec, Canadian Forestry Service: 324 pages.

DIONNE, J.-C. (1969): Erosion glacielle littorale, estuaire du Saint- Laurent, Revue de Géographie de Montréal, Vol. 23, no 1, p. 5-20.

DIONNE, J.-C. (1969): Tidal flat erosion by ice at La Pocatière, St. Lawrence estuary, J. Sediment. Petrol., Vol. 39, p. 1174-1181.

DIONNE, J.-C. (1971): Erosion glacielle de la slikke, estuaire du Saint-Laurent, Revue de Géomorphologie dynamique, Vol. 20, p. 5-21.

DIONNE, J.-C. (1971): Polygonal patterns in muddy tidal flats, J. Sedi- ment. Petrol., Vol. 41, p. 838-839.

DIONNE, J.-C. (1972): Sur l'origine des estrans rocheux du Saint-Laurent, Annales de l'ACFAS, Vol. 39, p. 76.

DIONNE, J.-C. (1972): Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier de l'estuaire du Saint-Laurent, Zeitschrift fur Geomorphologie, Suppl. Bd., Vol. 13, p. 131-162.

DIONNE, J.-C. (1972): Caractéristiques des blocs erratiques des rives de l'estuaire du Saint-Laurent, Rev. Géogr. Montréal, Vol. 26, no 2, p. 125-152.

DIONNE, J.-C. (1972): La dénomination des mers du Postglaciaire au Qué- bec, Cahiers de Géographie de Québec, Vol. 39, p. 483-488.

DIONNE, J.-C. (1972): Ribbed grooves and tracks in mud tidal flats of cold regions, Jour. Sed. Petrology, Vol. 42, no 4, p. 848-851.

DIONNE, J.-C. (1972): Micro-craters in muddy tidal flats of cold regions, Cah. Géogr. Québec, Vol. 39, p. 495-498.

DIONNE, J.-C. (1973): Monroes: a type of so-called mud volcanoes in tidal flats, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 43, no 3, p. 848-856.

DIONNE, J.-C. (1973): La notion de pied de glace (icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent, Cahiers de Géographie de Québec, Vol. 17, p. 221-250.

DIONNE, J.-C. (1974): How drift ice shapes the St. Lawrence, Can. Geogr. J., Vol. 38, no 2, p. 4-9.

DIONNE, J.-C. (1974): Mud cracks and polygons on ice push ridges in lower tidal flats of the St. Lawrence estuary, Can. J. Earth Sci., Vol. 11, p. 489-494.

DIONNE, J.-C. (1974): Polished and striated mud surfaces in the St. Lawrence tidal flats, Québec, Can. J. Earth Sci., Vol. 11, p. 860- 866.

DIONNE, J.-C. (1974): Livret-guide de l'excursion sur l'action géologique des glaces sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, 23-24 avril 1974, Centre de recherche forestière des Laurentides, Service canadien des forêts, Environnement Canada, 22 p. (bilingue)

DIONNE, J.-C. (1975): L'action morpho-sédimentologique des glaces dans le Saint-Laurent estuarien. In: JOHNSON, P.G. (ed): Fluvial Processes, Ottawa Press., Univ. Ottawa, p. 25-37.

DIONNE, J.-C. (1977): La mer de Goldthwait au Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 31, no 1-2, p. 61-80.

DIONNE, J.-C. (1979): L'érosion des rives du Saint-Laurent: une menace sérieuse à l'environnement, Environnement Canada, Québec, Dir. Terres, Rapp., 9 p. (unpubl.).

DIONNE, J.-C. (1980): Le glaciel de la batture de Cap Tourmente, Annales de l'ACFAS, Vol. 47, p. 116.

DIONNE, J.-C. (1981a): L'action des glaces sur les littoraux, Comptes rendus, 6e Conf. P.O.A.C., Vol. 3, p. 955-973.

DIONNE, J.-C. (1981b): Ice action in muddy tidal flats, middle St. Law- rence estuary, Proc. Workshop on Ice action on shores, Nat. Res. Council, Can., ACROSES, Vol. 3, p. 81-87.

DIONNE, J.-C. (1981c): Le déplacement de méga-blocs par les glaces sur les rivages du Saint-Laurent, Proc. Workshop on Ice action on shores, Nat. Res. Council, Can., ACROSES, Vol. 3, p. 53-80.

DIONNE, J.-C. (1981d): Données préliminaires sur la charge sédimentaire du couvert de glace dans la baie de Montmagny, Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 35, p. 277-282.

DIONNE, J.-C. (1984a): An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montmagny, middle St. Lawrence estuary, Marine Geology, Vol. 57, p. 149-166.

DIONNE, J.-C. (1984b): Données préliminaires sur l'âge des schorres supérieurs de l'estuaire du Saint-Laurent, Annales de l'ACFAS, Vol. 51, p. 151.

DIONNE, J.-C. (1985a): Formes, figures et faciès sedimentaires glaciels des estrans vaseux des régions froides, Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, Vol. 51, p. 415-451.

DIONNE, J.C. 1985b): Observations sur le Quaternaire de la Rivière Boyer, cote sud de l'estuaire du Saint-Laurent, Quebec. Géographie physique et Quaternaire, Vol. 39: 35-46.

DIONNE, J.C. (1985b): Tidal marsh erosion by geese, St. Lawrence Estuary Quebec. Geographie physicque et Quaternaire XXIX:99-105.

DIONNE, J.C. (1985c): L'erosion anthropique des marais intertidaux du Saint-Laurent. In: Proceedings Canadian Coastal Conference 1985, Editor, D. Forbes. ACROSES, NRC, St. John's, Nfld. pp. 547-468.

DIONNE, J.-C. (1985d): Les formations glacielles des rivages du Saint-Laurent. GEOS, vol. 14 (2): 23-25.

DIONNE, J.-C. (1986a): Erosion récente des marais intertidaux de l'es- tuaire du Saint-Laurent, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 50, no 3: 307-323.

DIONNE, J.-C. (1987a): Lithologie des cailloux de la baie de Montmagny, côte sud du Saint-Laurent, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 41: 161-169.

DIONNE, J.-C. (1987b): La charge sedimentaire glacielle des rivages du haut estuaire du Saint-Laurent. Proc. Can. Coastal Conf, Québec, ACROSES, NRC. p. 67-96.

DIONNE, J.C. (1988a): Characteristic features of modern tidal flats, in : Tide-influenced sedimentary environments and facies. P.L. de Boer et al. (eds), Utrecht (The Netherlands), Reidel Publ., p. 301-332.

DIONNE, J.-C. (1988b): Holocene relative sea level fluctuations, St. Lawrence Estuary, Québec. Quaternary Res. Vol. 29: 233-244.

DIONNE, J.-C. (1988c): L'émersion de la côte sud du Saint-Laurent dupuis la dernière déglaciation. GEOS, vol. 17 (1): 18-21.

DIONNE, J.-C. et BRODEUR, D. (1985): The role of ice and frost in shore platform development, in: SPENCER, T. (ed.): International Geomorphology, 1985, Abstracts of papers for the First International Conference on Geomorphology, University of Manchester, p. 144.

DIONNE, J.-C. et BRODEUR, D. (1987): Erosion des plates-formes rocheuses littorales par affouillement glaciel, Zeitschrift fur Geomorphologie .

DIONNE, J.-C. et LACOMBE, J. (1984): Fluctuations du niveau marin dans l'estuaire du saint-Laurent au cours de l'Holocène, Ve Congrès de l'AQQUA, Sherbrooke, 4-7 octobre 1984, Programme et Résumés, p. 26.

DOHLER, G.C. (1961): Current survey, St. Lawrence River, Montreal, Que- bec, 1960, Canada Hydro. Service, Dept. Mines and tech. Surveys, Surveys and mapping Br., 58 p.

DOHLER, G.C. and KU, L.F. (1970): Presentation and assesment of tides and water level records for geophysical investigations, Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 7, p. 607-625.

DUBE, M.R. (1982): Dynamique sédimentaire des estrans de Kamouraska, Québec, Université Laval, Dépt, Génie Civil, thèse de mâtrise non-publiée, 158 p.

DUBE, M. et SERODES, J.-B. (1982): Dynamique sédimentaire des battures de Kamouraska, Annales de l'ACFAS, Vol. 49, p. 102.

DYKE, A.S., and PREST, V.K. (1987): Late Wisconsin and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet. Géogr. Phys. Quatern. Vol. 41: 237-263.

EL-SABH, M.I. (1973): (coordinator) Proceedings of Workshop on Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence, Rimouski, Université du Québec à Rimouski, October 11-12, 250 p.

EL-SABH, M.I. (1976): Bibliographie sur l'océanographie de l'estuaire du St-Laurent, Cahiers de l'Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 1ère édition, 97 p.

EL-SABH, M.I. (1988): Physical oceanography of the St.Lawrence Estuary. In: Hydrodynamics of Estuaries, Vol. II: Estuarine Case Histories; CRC Press, pp. 61-78.

EL-SABH, M.I., LEVESQUE, L. et MURTY, T.S. (1976): Mouvement des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent, Naturaliste canadien, Vol. 106, no 1, p. 89-104.

ELSON, A. (1969): Late Quaternary marine submergence of Quebec. Rev. Can. Geogr. 23:247-258.

FAESSLER, C. et LAVERDIERE, J.M. (1936): Quelques observations sur la géologie de la Côte de Beaupré, Naturaliste canadien, Vol. LXIII, no 2, p. 35-44.

FORRESTER, W.D. (1967): Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary, Bed. Inst. Oceanog., Dartmouth, N.S., Unpubl. M.S. Report no 67-5, 175 p.

FORRESTER, W.D. (1970): Geostrophic approximation in the St.Lawrence Estuary, Tellus, Vol. 22, p. 53-65.

FORRESTER, W.S. (1972): Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and estuary, Int. Hydrogr. Rev., Vol. 49, p. 95-108.

FORRESTER, W.D. (1974): Internal tides in St.Lawrence Estuary, J. Marine Research, Vol. 32, no 1, p. 55-56.

FRASER, J.K. and FORWARD, C.N. (1952): Reports on the aerial ice survey of the St.Lawrence River, March 10, 1952, Canada, Dept. Min., Mines and Tech. Surveys, Geographical Br.

FRENETTE, M. and LARINIER, M. (1973): Some results on the sediment regime of the St. Lawrence river, in: Fluvial Processes and Sedimen- tation, Proc. 9th Can. Hydrol. Symp. (Edmonton), Inland Waters Directorate, Environ. Canada, p. 138-157.

FRENETTE, M., SASSEVILLE, J.L. et SERODES, J.-B. (1974): Aspects physiques, chimiques et biologiques des sédiments du fleuve Saint- Laurent, Conférence présentée au Colloque sur le Saint-Laurent, Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, Québec, 110p

FRENETTE, M. et VERRETTE, J.L. (1976): Environnement physique et dynamique du fleuve Saint-Laurent, L'Ingénieur, no 312, p. 13-24.

GADD, N.R. (1967): Pleistocene geology of the central St. Lawrence lowland; with selected passages from an unpublished manuscript "The St. Lawrence Lowland" by J.W. Goldthwait. Geological Survey of Canada Memoir 359: 149 pages.

GAUTHIER, B. (1971): Contribution à la régionalisation du Saint-Laurent Naturaliste canadien, Vol. 98, p. 401-414.

GAUTHIER, B. (1977): Recherches des limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral), Québec, Université Laval, thèse de doctorat, 233 p.

GAUTHIER, J., LEHOUX, D. et ROSA, J. (1980): Les marécages intertidaux dans l'estuaire du Saint-Laurent, Environnement Canada, Service canadien de la faune, 91 p.

GOBEIL, C. (1978): Etude de la composition elementaire de la phase solide dans l'estuaire du Saint-Laurent en relation avec la géochemie du manganese et du fer. Unpubl. MSc thesis, Dept. Océanographie, Univ. Québec à Rimouski.

GOBEIL, C., SUNBY, B. and SILVERBERG, N. (1981): Factors influencing particulate matter geochemistry in the St. Lawrence estuary turbidity maximum, Marine Chemistry, Vol. 10, p. 123-140.

GODIN, G. (1979): La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, Naturaliste canadien, Vol. 106, p. 105-121.

GOLDTHWAIT, J.W. (1911): The Twenty-foot Terrace and Seacliff of the Lower St. Lawrence, American Journal of Sciences, Vol. 32, p. 291- 317.

GOLDTHWAIT, J.W. (1933): The St. Lawrence Lowland. In: GADD, N.R. (1971): Pleistocene Geology of the Central St. Lawrence Lowland, Geological Survey of Canada, memoir 359, p. 113-153.

GROUPE DRYADE (1982): Analyse de l'évolution spatiale des marécages intertidaux de l'estuaire moyen du Saint-Laurent 1960-1980. Rapport présenté au Service canadien de la faune, région de Québec, mars 1982, 37 p.

HAMBLIN, P.F.; LUM, K.R.; COMBA, M.E.; and KAISER, K.L.E. (1988): Observations of suspended sediment flux over a tidal cycle in the region of the turbidity maximum of the upper St.Lawrence River Estuary. In: Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets. D.G. Aubrey and Lee Weisbar (Eds.), Springer Verlag.

HAMBLIN, P.F. (1989): Observations and model of sediment transport near the turbidity maximum of the upper St.Lawrence Estuary. Jour. Geophys. Res. Oceans (in press).

HAMEL, A. (1955): Esquisse écologique des comtés de l'Islet et de Kamouraska, Can. J. Bot., Vol. 33, p. 223-250.

HAMELIN, L.E. (1970): Essai: les grandes divisions du Saint-Laurent - Commentaires, Rev. Géogr. Montréal, Vol. 24, p. 290-291.

HAMELIN, L.E. (1972): Régiologie et régionymie du Saint-Laurent en aval du lac Ontario, Cah. Géogr. Québec, Vol. 16, no 37, p. 7-39.

HAMELIN, L.E. et LETARTE, J. (1966): Glace de rive et haut-estran, Ile d'Orléans. Evolution depuis 1957, Bull. Ass. Fr. Et. Quat., Vol. 3, no 7, p. 112-119.

HASSAN, E.M. (1973): Coastal oceanography program in the St. Lawrence Estuary in the Spring-summer of 1973 and Preliminary Results of some Aspects of the Program, Proceedings of Workshop on Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence, Université du Québec à Rimouski, October 11-12, 1973, p. 2-14. (Coordinator M.I. EL-SABH).

HILLAIRE-MARCEL, C. (1979): Les mers post-glaciaires du Québec: quelques aspects, thèse D. Sc., Paris, Université de Paris VI, 600 p.

HOLEMAN, J.I. (1968): The sediment yield of major rivers of the world. Water Resources Research 4: 737-747.

HOUDE, M. et CLARK, T.H. (1962): Carte géologique des Basses Terres du Saint-Laurent, Ministère des Richesses Naturelles, Province de

Québec, carte no 1407 .

HUBERT, C. (1965): Stratigraphy of the Quebec Complex in the l'Islet-Kamouraska Area, Quebec, Ph. D. thesis, Univ. McGill, 192 p.

HUBERT, C. (1973): Région de Kamouraska, La Pocatière, Saint-Jean-Port- Joli, Québec, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Rapport géologique no 151, 205 p.

HYDROTECH-INC (1985): Etat de Connaissance et Prospectives Sedimentologiques des Eaux Douces du Quebec: Rapport Consultatif. Environment Canada, Quebec.

IJC (1984): Great Lakes Hydrometeorologic and Hydraulic data needs: Report to the International Joint Commission. Reference Nov. 19/79.

INGRAM, R.G. (1973): Current Meter Results from St. Lawrence Estuary, in: Proceedings of Workshop on Physical Sciences in the Gulf and Estuary of St. Lawrence, Université du Québec à Rimouski, October 11-12, 1973, p. 14-26. (Coordinator M.I. EL-SABH).

INGRAM, R.G. and D'ANGLEJAN, B.F. (1977): On the importance of cross channel suspended matter flux in the upper St. Lawrence estuary, Proceedings of the Symposium on Modelling of Transport Mechanisms in Oceans and Lakes, Burlington, Ontario, Environment Canada, ma- nuscript No 43, p. 149-159.

INRS-EAU (1975): Etude du fleuve Saint-Laurent (Tronçon Cornwall Mont- magny), annexe cartographique 1974-1975, étude du fleuve Saint-Laurent, INRS-EAU, 16 p.

JORDAN, F. (1973): The St. Lawrence System run-off estimates 1960-1970, Bed. Inst. Oceanog., Dartmouth, N.S., Canada, Data Series, BI-D-73- 10, september 1973, 11 p.

KAMPHUIS, J.W. (1968): Mathematical model study of the propagaton of tides in the St. Lawrence River and Estuary, Nat. Research Council Report, DME, MH 105, Ottawa.

KARROW, P.F. (1957): Pleistocene geology of the Grondines map-area, Quebec, Ph. D. dissert., University of Illinois, 95 p.

KARROW, P.F. (1961): The Champlain Sea and its Sediments, in: Soils in Canada, R.F. Legget (ed.), Roy. Soc. Can . Sp. Publ., No 3, Univ. Toronto Press, Toronto, p.97-107.

KARROW, P.F. (1961): The Champlain Sea and its Sediments. In: Soils in Canada, pp. 97-107. Editor: R.F. Legget. University of Toronto Press, Toronto.

KAY, M. and COLBERT, E.H (1965). Stratigraphy and life history. John Wiley and sons, Inc., 736 p.

KHALIL, M. and ARNAC, M. (1975): Le golfe et l'estuaire du Saint- Laurent. Revue des principaux travaux d'océanographie chimique, Rev. Int. Océanogr. Méditerr., Vol. 39-40, p. 153-170.

KRANCK, K. (1979): Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence river, in: Fluvial Processes and Sedimentation, Proc. 9th Can. Hydrol.

KRANCK, K. (1979): Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary, Naturaliste canadien, vol. 106, p. 163-173.

KUMARAPELI, D.S. and SAUL, V.A. (1966): The St. Lawrence valley system: a North American equivalent of the East African rift valley system. Canadian Journal of Earth Science 3:639-658.

LACOMBE, J. (1982): Analyse de l'évolution spatiale des marécages intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, 1960-1980, Québec, Groupe DRYADE, Rapport au Service canadien de la Faune, 37 p.

LARIVIERE, R., QUARCH, T.T., HAUSSER, R. et MARCHE, C. (1976): Les étu- des hydrauliques liées au développement du complexe nucléaire de Gentilly, Eau du Québec, Vol. 9, no 1, p. 29-30.

LASALLE, P. (1966): A Late Quaternary vegetation and glacial history in the St. Lawrence lowlands, Canada. Leidse Geol. Mededel. 38:91-128.

LASALLE, P. (1984): Quaternary stratigraphy of Québec: A review, in: Fulton, R.J. (ed.): Quaternary stratigraphy of Canada - A Canadian contribution to IGCCP Project 24, Geological Survey of Canada, Paper 84-10, Ottawa, p. 156-171.

LASALLE, P. and ELSON, J.A. 1962. Rapport préliminaire sur la région de Beloeil - geologie des dépôts meubles. Ministère des Richesses naturelles, Québec, R.P. No. 497, Carte No. 1474, 10 p.

LASALLE, P., MARTINEAU, G. et CHAUVIN, L. (1977): Morphologie, stratigraphie, et déglaciation dans la région de Beauce - Monts-Notre-Dame - Parc des Laurentides, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, DPV-516, Québec, 74 p.

LASALLE, P., MARTINEAU, G. et CHAUVIN, L. (1977): Géologie du Quaternaire près de Québec, in : LaSalle, P. et Béland, R. (éds): New En- gland Intercollegiate Geological Conference, Livret-guide pour les excursions dans la Province de Québec, Excursion A-9, p. A-9-1 à A- 9-15.

LASALLE, P., MARTINEAU, G. et CHAUVIN, L. (1980): Géologie du Quaternaire au sud de la ville de Québec (Thetford Mines, Beauce - Monts- Notre-Dame), livret-guide, excursion du IVe colloque sur le Quaternaire du Québec, septembre 1980, Québec, Université Laval, 32 p.

LAVERDIERE, C., DIONNE, J.-C., HAMELIN, L.E., BRUNEL, P. et LASSERRE, J.C. (1970): Les Grandes divisions du Saint-Laurent, Rev. Géogr.

Montreal, Vol. 24, no 3, p. 282-303.

LAVOIE, J. (1987): Etude morpho-sédimentologique du rivage de Grondines, Québec. Unpubl. MSc thesis, Université laval, Dept. Géogr., 158 p.

LEBLOND, R. (1967): Le Saint-Laurent: Orientation bibliographique, Cah. Géogr. Québec, Vol. 11, no 23, p. 419-461.

LEMAY, H.P. (1974): Bibliographie sur le Saint-Laurent, Etude du fleuve Saint-Laurent, Institut national de la recherche scientifique, 159 p.

LEMIEUX, G. (1980): Les marais intertidaux de Kamouraska, Office de planification et de développement du Québec, 70 p.

LLAMAS, J. and TRIBOULET, J.P. (1980): Hydrologie du bassin moyen du Saint-Laurent. Canadian Water Resources Journal 5/1: 30-55.

LOHRBERG, W. and ROHDE, H. (1973): Influence of tidal river headwater on the tidal mean water level in the estuary, Dtsch. Gewasserkd. Mitt., Vol. 17, no 1, p. 1-13.

LONG, B. et DUMAS, J.P. (1979): Influence des variations du débit soli- de du Saint-Laurent sur la diffusion des masses polluantes dans le secteur de Gentilly, 19th Can. Symp. Wat. Poll. Res., Sherbrooke.

LONG, B.F., BOUCHARD, D. et DUMAS, J.P. (1980): Etude des variations de la charge solide du fleuve St-Laurent entre Trois-Rivières et Gentilly, Québec, Rapport du Groupe de recherches sur les écosystèmes aquatiques (GREA), Univ. du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, 72 p. + 5 annexes.

LORING, D.H., and NOTA, D.J.G. (1973): Morphology and sediments of the Gulf of St.Lawrence. Bull. Fish. Res. Bd. Can. no. 182, 147 p.

LORTIE, G. et GUILBAULT, J.-P. (1984): Les diatomées et les foraminifères de sédiments marins post-glaciaires du Bas - Saint-Laurent (Québec): une analyse comparée des assemblages, Naturaliste canadien, Vol. 111, p. 297-310.

LUCOTTE, M., and D'ANGLEJAN, B. (1983): Forms of phosphorus and phosphorus - iron relaationships in the suspended matter of the St.Lawrence estuary. Can. Jour. Earth Sci., Vol. 20: 1880-1890.

LUCOTTE, M., and D'ANGLEJAN, B. (1986): Seasonal control of the St.Lawrence maximum turbidity zone by tidal flat sedimentation. Estuaries, Vol. 9: 84-94.

LYELL, C. (1843): On the ridges, elevated beaches, inland cliffs and boulders formations of the Canadian Lakes and Valley of the St.Lawrence, Philo. Mag. and Journ. Sc., London, Vol. 23, p. 183-186.

MALTAIS, B. (1976): Utilisation récréative des rives de la côte de Beaumont, Québec, Univ. Laval, Dépt. Géogr., thèse de mâtrise non-publiée, 253 p.

MARCHE, C. (1974): Etude de la déformation progressive de l'onde de marée dans l'Estuaire du Saint-Laurent, Québec, Univ. de Montréal, thèse de doctorat, 64 p.

MARTINEAU, G. (1977): Géologie des dépôts meubles de la région de Kamouraska / Rivière-du-Loup, Min. Rich. Nat. Québec, DPV-545, Québec, 17 p.

McPHERSON, J.B. (1967): Raised shorelines and drainage evolution in the Montreal lowlands. Cah. Geograph. Quebec 23:343-360.

MERIC, P. (1975): Circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du St- Laurent et son influence sur les processus sédimentaires, Centre de recherches sur l'eau, Univ. Laval, Québec, Rapport no CRE-75/03.

MICHAUD, Y. (1985): Le littoral du Saint-Laurent entre la pointe de la Martinière et Beaumont, Québec, Univ. Laval, Dépt. de Géogr., mémoire de baccalauréat non publié, 113 p.

MICHEL, B. (1973): Ice conditions related to winter navigation, Kamou- raska Basin, St.Lawrence River, Unpubl. MS Report, NEPCO, 46 p.

MICHEL, B. (1976): Les problèmes de glace du Saint-Laurent, L'Ingénieur, mars-avril 1976, no 312, 62e année, p. 28-33.

MICHEL, B. and BERENGER, D. (1972a): Contribution à une étude systématique de la formation de la glace dans le Saint-Laurent, Rapport GCS- 72-10-25, Québec, Univ. Laval, Dépt. Génie Civil, 180 p.

MICHEL, B. ET BERENGER, D. (1972b): L'hiver glaciologique le long du fleuve St-Laurent, Proc. Symp. Int. sur le role de la neige et de la glace en hydrologie, Banff, Vol. II, p. 1251-1283.

MICHEL, B. et DROUIN, M. (1972): Débit de la glace flottante du Saint- Laurent au pont de Québec : 1)Principe de mesures; 2) Compilation des résultats, Rapport GCT-72-09-24, Québec, Univ. Laval, Dépt. Génie Civil, septembre 1972, 32 p.

MINISTERE DES TRANSPORTS (1970). Relevé des characteristiques des roches et dépots meubles de la vallée du Saint-Laurent. Direction de l'hydraulique maritime, Div. du Chanel Maritime, 339 p.

MINISTERE DES TRANSPORTS (1976): Cap Santé, Etude de courant et d'ensablement, Garde Côtière Canadienne, Rapport non publié, 7 p.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA (1972): Etude des rives du Saint-Laurent, morphologie-sédimentologie, Ministère des Travaux Publics du Canada, Etudes des rives du Saint-Laurent, Ottawa, 12

tomes.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive nord du St-Laurent, de Montréal à Berthier, Etude des rives du Saint-Laurent, Tome II.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive nord du St-Laurent, de Berthier à Deschambault, Etude des rives du St-Laurent, Tome III.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive nord du St-Laurent, de Deschambault à St-Augustin, Etude des rives du Saint-Laurent, Tome IV.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive nord du St-Laurent, de St-Augustin à Cap Tourmente, Etude des rives du Saint-Laurent, Tome V.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive sud du St-Laurent, de Longueil à Lotbinière, Etude des rives du Saint-Laurent, Tome VI.

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DU CANADA, (1973): Morpho-sédimentologie de la rive sud du St-Laurent, de Lotbinière à Berthier-en-Bas (Ile d'Orléans inclus), Etude des rives du Saint-Laurent, Tome VII.

MONAHAN, D. (1976): Morphology and sediments of sand waves in the St.Lawrence estuary, Marit. Sed., Vol. 12, p. 1-7.

MUIR, L.R. (1979): Intertial tides in the Middle Estuary of the St. Lawrence, Naturaliste canadien, Vol. 106, no 1, p. 27-36.

NOTA, D.J.G. and LORING, D.H. (1964): Recent depositional conditions in St.Lawrence river and gulf. A reconnaissance survey, Marine Geology, Vol. 2, p. 198-235.

OCCHIETTI, S. (1980): Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières - Shawinigan, Québec. Contribution à la paléo-géographie de la vallée moyenne du St-Laurent et corrélations stratigraphiques, Série Paléo-Québec, Vol. 10, Univ. du Québec à Trois-Rivières, 218 p.

OCCHIETTI, S. (1982): Synthèse lithostratigraphique et paléoenvironnements du Quaternaire au Québec méridional. Hypothèse d'un centre d'englacement wisconsinien au Nouveau-Québec, Géographie physique et Quaternaire, Vol. 36, nos 1-2, p. 15-49.

OUELLET, Y. (1973): Etude sur le batillage à Champlain, Etude des rives du Saint-Laurent, Ministère des travaux Publics du Canada, Avril 1973.

OUELLET, Y. et BAIRD, W. (1979): L'érosion des rives dans le St-Laurent, Comptes rendus IIIe Conf. Nationale d'Hydrotechnique, mai 1977, p. 252-270.

OUELLET, Y. et CERCEAU, J. (1976): Mélange des eaux douces et salées du Saint-Laurent; circulation et salinité, Les Cahiers de CENTREAU, Univ. Laval, Québec, Vol. 1, no 4, 57 p.

OUELLET, Y. et CHEYLUS, J.-F. (1971): Etude du modèle mathématique de la propagation des marées dans le fleuve Saint-Laurent; application du modèle mathématique et étude de la région de l'Ile d'Orléans, CENTREAU, Univ. Laval, Québec, 37 p.

OUELLET, Y. et SERODES, J.-B. (1983): Ports de refuge - Québec 1534- 1984. Etude de l'agitation et de la sédimentation, Rapport non pu- blié, soumis au Ministère des Travaux Publics du Canada, 29 p. et 6 annexes.

OUELLET, Y. et SERODES, J.-B. (1984): Problèmes d'agitation et de sédimentation des ports de refuge - Québec 84, Comptes rendus du colloque de l'AQTE, p. 115-141.

OUELLET, Y. et TRUMP, C. (1979): La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du Saint-Laurent, Naturaliste canadien, Vol. 106, no 1, p. 13-26.

OUELLET, Y., SERODES, J.-B. et DESJARDINS, L. (1985): Comportement sédimentologique d'un littoral en présence de dragage: le cas de la baie de Tadoussac, Proceedings Canadian Coastal Conference, St.John's, Nfd, N.R.C. - ACROSES, 1985, p. 513-531.

PANASUK, S. (1987): Erosion des îles de Varennes: taux et processus. Unpubl. M.Sc. thesis, Dept. Environnement, Univ. Québec, Montréal, 130 p.

PARDE, M. (1948): Hydrologie du St-Laurent et de ses affluents, Rev. Can. Géogr., Vol. 2, p. 35-83.

PARENT, M., and OCCHIETTI, S. (1988): Late Wisconsin deglaciation and Champlain Sea invasion in the St.Lawrence calley, Quebec. Géogr. Phys. Quatern. Vol. 42: 215-246.

PARTENSCKY, H.W. and VINCENT, R. (1965): Tidal characteristics of the St.Lawrence Estuary, determined by means of a linearized approximation, Rapport au Conseil National de recherches, septembre 1965.

PARTENSCKY, H.W. and WARMOES, J.C. (1969): Etude des marées dans l'Estuaire du Saint-Laurent entre l'Ile d'Anticosti et le lac Saint-Pierre, Univ. de Montréal, Ecole Polytech., Div. d'Hydraulique, Rapp. Cons. Nat. Rech. Can., 3 volumes, 300 p.

PARTENSCKY,H.W. and WARMOES, J.C. (1970): Etude des marées dans l'Estuaire du Saint-Laurent à l'aide d'un modèle mathématique linéarisé, Rapport soumis en 3 volumes au Conseil National de Re- cherches du Canada et au Ministère de l'Education du Québec, décem- bre 1970, 677 p.

PELLEGRIN, C. (1976): Le chenal maritime du Saint-Laurent: caractéristiques et développement, L'Ingénieur, mai-juin 1976, no 313, 62e année, p. 27-31.

PELLETIER, M. (1982): Evolution sédimentologique de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent, Rimouski, Univ. du Québec à Rimouski, thèse de mâtrise en sciences (océanographie) non publiée, 216 p.

POCKLINGTON, R. and LEONARD, J.D. (1979): Terrigenous organic matter in sediments of the St.Lawrence estuary and the Saguenay fjord, J. Fish. Res. Bd. Can., Vol. 36, p. 1250-1255.

POOLE, W.H., SANFORD, B.V., WILLIAMS, H. and KELLEY, D.G. (1970): Chapter VI. Geology of southeastern Canada. In: Geology and economic minerals of Canada, pp. 228-304. Editor: R.J.W. Douglas. Geological Survey of Canada, Ottawa.

POULIN, P. (1976): Le complexe morainique de Saint-Narcisse dans le secteur sud de la rivière Malbaie, Interprétation paléoclimatique par l'analyse pollinique. Québec, thèse de maitrise non publiée, Dépt. Géogr., Univ. Laval, Québec, 83 p.

PREST, V.K. (1970): Quaternary geology of Canada. In: Geology and Economic Minerals of Canada, 5th Edition, pp. 676-764. Editor: R.J.W. Douglas. Geological Survey of Canada, Ottawa.

PREST, V.K. and KEYSER, J. 1961. Surficial geology and soils of the Montreal area, Québec. Joint project between the Geol. Survey of Can. and the Dept. of Public Works - City of Montreal, GSC Map 42-1960, 49 p.

PROVENCHER, J. (1972): Bibliographie du fleuve Saint-Laurent de Trois-Rivières à l'Ile aux Coudres, Centre de recherches sur l'eau, Univ. Laval, Québec.

QUILLAM, L. (1987): Evolution récent et dynamique écologique actualle du marais littoral à Saint-Joseph-de-la-Rive, Charlevoix. Unpubl. M.Sc. thesis Dépt. Géogr., Univ. Laval, 142p.

RIVA, J. (1972): Géologie des environs de Québec, Comm. géol. Canada, Congrès géol. Int., Livret-guide B-19, 60 p.

RIVA, J., BELT, E.S. et MEHRTENS, C.J. (1977): Le Groupe de Trenton, l'Utica et la succession de flysch de la plate-forme près de la ville de Québec, Canada, in: LaSalle, P. et Béland, R. (éds): New England Intercollegiate Geological Conference, 24-25 sept. 1977, Excursion A-8, 45 p.

ROCHON, R. (1985): Problems associated with dredging operations on the St. Lawrence: Situation, methods, and priority areas of concern.

Environment Canada, EPS Report 4/MA/1: 1-72.

ROCHON, G. CARTER, D. CLIBBON, P. LLAMAS, J. et VERRETTE, J.-L. (1973): Analyse des applications du satellite ERTS à l'étude du Saint-Laurent, Rapport CRE-73/05, Centre de recherches sur l'eau, Univ. Laval, rapport soumis à Environnement Canada, décembre 1973, 105 p.

RONDOT, J. (1969): Géologie de la région de la rivière Malbaie, Ministère des Richesses Naturelle du Québec, Rapport préliminaire, R.-P.-576, 31 p.

RONDOT, J. (1972): Géologie de la région de la rivière du Gouffre, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Rapport préliminaire R.-P.-605, 29 p.

RONDOT, J. (1972): La transgression ordovicienne dans Charlevoix, Québec, Can. J. Earth Sci., Vol. 9, p. 1187-1203.

RONDOT, J. (1974): L'épisode glaciaire de Saint-Narcisse dans Charlevoix, Québec, Rev. Géogr. Montréal, Vol. 28, no 4, p. 375-388.

RONDOT, J. (1979): Reconnaissances géologiques dans Charlevoix-Saguenay, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, DPV-682, 44 p.

ROUSSEAU, J. (1967): Pour une esquisse biogéographique du Saint-Laurent, Cah. Géogr. Québec, no 23, p. 181-206.

RUKAVINA, N.A. 1986. Lac St.-Louis bottom sediment data, interim report. Hydraulics Division, Nat. Water Res. Inst. unpubl. report. 4 p.

SCOTT, J.S. (1967): St. Lawrence lowlands hydrogeological region. In: Ground water in Canada, pp. 98-116. Editor: J. C. Brown. Geological Survey of Canada, Ottawa.

SERODES, J.-B. (1975): Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles, CENTREAU, Univ. Laval, Rapport no CRE-75/14, 154 p.

SERODES, J.-B. (1976): La Saint-Laurent. Les sédiments: le fond du problème, L'Ingénieur, mai-juin 1976, no 313, 62e année, p. 10-15.

SERODES, J.B. (1978). Qualite des sediments de fond du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny. Environment Canada, IWD Quebec region, Tech. Rep. 15; Comite d'etude sur le Fleuve Saint-Laurent: 467 pages.

SERODES, J.-B. (1980): Etude de la sédimentation intertidale de l'es- tuaire moyen du Saint-Laurent, Environnement Canada, DGEI-Région du Québec, Direction de la planification et gestion, 30 p.

SERODES, J.-B. et DUBE, M. (1983): Dynamique sédimentaire d'un estran à spartines (Kamouraska, Québec), Naturaliste canadien, Vol. 110, p. 11-26.

SERODES, J.-B. and TROUDE, J.-P. (1984): Sedimentation cycle of a fresh-water tidal flat in the St.Lawrence estuary, Estuaries, Vol. 7, p. 117-125.

SERODES, J.-B., TROUDE, J.-P., DUBE, M. et DESCHENES, J. (1982): Etude des mecanismes sédimentologiques et du pouvoir de transformation des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, Environnement Canada, DGEI-Région du Québec, Direction de la planification et gestion, 137 p.

SERODES, J.-B., DUBE, M. et DESCHENES, J. (1983): Etude de la dynamique sédimentaire et du pouvoir de transformation des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cas des estrans de Kamouraska, Environnement Canada, DGEI-Région du Québec, Direction de la planification et gestion, 90 p.

SERODES, J.-B., TROUDE, J.-P. et DESCHENES, J. (1983): Etude de la dy- namique sédimentaire et du pouvoir de transformation des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cas de l'estran de la pointe aux Prêtres (Batture de Cap-Tourmente), Environnement Canada, DGEI-Région du Québec, Direction de la planification et gestion, 81 p.

SERODES, J.-B., DESCHENES, J. et TROUDE, J.-P. (1985): Temps de submersion des marais à scirpe (Scirpus americanus) de l'estuaire du Saint-Laurent, Naturaliste canadien, Vol. 112, no 1, p. 119-129.

SILVERBERG, N. and SUNDBY, B. (1979): Observations in the turbidity maximum of the St.Lawrence estuary, Can. J. Earth Sci, Vol. 16, p. 939-950.

SIMARD, L. (1968): Relevé des caractéristiques des roches et des dép'ts meubles de la vallée du Saint-Laurent, Min. des Transports, Direction Hydrographie Maritime, 339 p.

SIMARD, L. (1971): Relevé des caractéristiques des roches et dépots meubles de la vallée du Saint-Laurent, Ministère des Transports, Division du chenal maritime du Saint-Laurent, Montréal, Vol. I et II.

SIMARD, L. (1971): Catalog of St. Lawrence River Soil and Rock Data. 1st Edition. Transport Canada, Marine Hydr. Br., Montreal.

SLOTERDIJK, H. 1983. Toxic substances in Lake St.Francis sediments. Environment Canada Inland Waters Directorate, EPS, unpubl. report, unpag.

SOUCY, A. (1976): Evolution des suspensions et sediments dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Universite Laval, Centre de recherches sur l'eau:67.

SOUCY, A., BERUBE, Y., TROUDE, J.-P., et MERIC, R.H. (1976): Evolution des suspensions et sediments dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, Québec, Les Cahiers de CENTREAU, Vol. I, no 5, 67 p.

SOUCY, A.Y.; BERUBE, Y; FRONDER, J.P.; and MERIE, P. (1976): Evolution des suspensions et sediments dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Le Cahier de CENTREAU, Vol. 1, 67 p.

SPENCER, J.W. 1891. Origin of the basins of the Great Lakes of North America. Amer. Geologist, 7: 86-97.

ST-JULIEN, P. (1977): Structure et stratigraphie des roches de la plate-forme et des séquences appalachiennes près de Québec, in : LaSalle, P. et Béland, R. (Eds): New England Intercollegiate Geological Conference, livret-guide des excursions dans la province de Québec, Excursions A-3 et B-3, 48 p.

ST-JULIEN, P. HUBERT, C. SKIDMORE, B. et BELAND, J. (1972): Stratigraphie et structure des Appalaches du Québec, Comm. géol. Canada, Congrès géol. Int., Livret-guide A56 - C56, 105 p.

STRAIN, P.M. and TAN, F.C. (1978): Carbon and Oxygen Isotope Ratios in the Saguenay Fjord and the St.Lawrence Estuary and their Implications for Paleoenvironmental Studies, Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 8, p. 119-126.

SUNDBY, B. (1974): Distribution and transport of sediment particulate matter in the Gulf of St. Lawrence. Canadian Journal of Earth Sciences 11:1517-1533.

TAILLEFER, F. (1958): La morphologie des environs de Québec et de la basse vallée du Saint-Laurent, Cahiers de Géographie de Québec, no 4.

TAN, F.C. and STRAIN, P.M. (1979): Organic carbon isotope ratios in recent sediments in the St.Lawrence estuary and the Gulf of St.Lawrence, Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 8, p. 213- 225.

TERASMAE, J. 1960. Geologie de la region de Cornwall - Ontario et Québec (depôts meubles). Ministère des Mines et des relevés techniques, Comm. Geol. Can., Etude 60-28.

TESSIER, C. (1980): Le St-Laurent: l'érosion fait rétrécir le Québec, Le Soleil, Québec, samedi 10 mai 1980, p. B7.

TRITES, R.W. (1964): Physical Oceanographic studies of the St.Lawrence Estuary, Fish. Res. Bd. Canada, Atlantic Oceanog. Group, Bed. Inst. Oceanog., Dartmouth, N.S., Annual Report and Investigators summaries, 1963-64, p. 1-3.

TROUDE, J.-P. (1975): Stabilité des suspensions colloidales dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, thèse de maitrise, CENTREAU, Univ. Laval, Québec.

TROUDE, J.-P., SERODES, J.-B. and ELOUARD, B. (1983): Etude des mechanisms sedimentologiques des zones intertidales de l'estuaire moyen du

Saint-Laurent: cas de la Batture de la Pointe aux Pretres (Batture de Cap-Tourmente). Environment Canada, Dir. Gen. Eaux Interieures (IWD), Region du Quebec XIII: 69 pages.

TROUDE, J.P. et SERODES, J.B. (1985): Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent, Proceedings Canadian Coastal Conference, St.John's, Nfd, NRC-ACROSES, 1985, p. 105-119.

VEILLETTE, D. (1979): Esquisse géomorphologique de l'Ile-aux-Oies, mémoire de baccalauréat non publié, Dépt. de géogr., Univ. Laval, Québec, 61 p.

VERRETTE, J.-L. and FRENETTE, M. (1980): Centrale nucleaire de Gentilly; localisation de la prise d'eau: Etude des aspects hydro-sedimentologiques du Saint-Laurent. Hydro-Quebec. Service Hydraulique, Div. Etudes especiales et recherche (Hydrotech).

VERRETTE, J.-L., et ROBITAILLE, S. (1974): Etude du mélange des eaux du Saint-Maurice et du Saint-Laurent, Annales de l'ACFAS, mai 1974, Québec.

VINCENT, B. et VAILLANCOURT, G. (1980): Régime thermique de l'eau de la zone littorale dans le haut estuaire du Saint-Laurent, Eau du Québec, mai 1980, Vol. 13, no 2, p. 120-123.

WILSON, A.E. (1946): Geology of the Ottawa - St. Lawrence lowland, Ontario and Quebec. Geological Survey of Canada Memoir 241.

Tableau 1. Caractéristiques hydrauliques des principaux fleuves du monde (Holeman, 1968, à moins d'indication contraire)

Fleuve/Emplacement	Bassin versant ($x10^3$ km^2)	Débit moyen (m^3/s)	Sédiments en suspension ($x10^3$ t/an)
St-Laurent/Canada	1200	14,200	3,600
McKenzie/Canada	1800*	9,900*	160,000**
Amazone/Brésil	6,100	181,200 (212,000*)	362,900
Congo/Afrique centrale	4,000	39,600	64,700
Nil/Nord-est de l'Afrique	3,000	283	110,500
Volga/USSR	1,300	8,000	18,800
Gange/Inde, Bangladesh	1,100	14,100	1,451,500
Yangtse/Chine	1,000	21,800	500,800

* Atlas hydrologique du Canada (Anonyme, 1975b)

** Brunskill (1974)

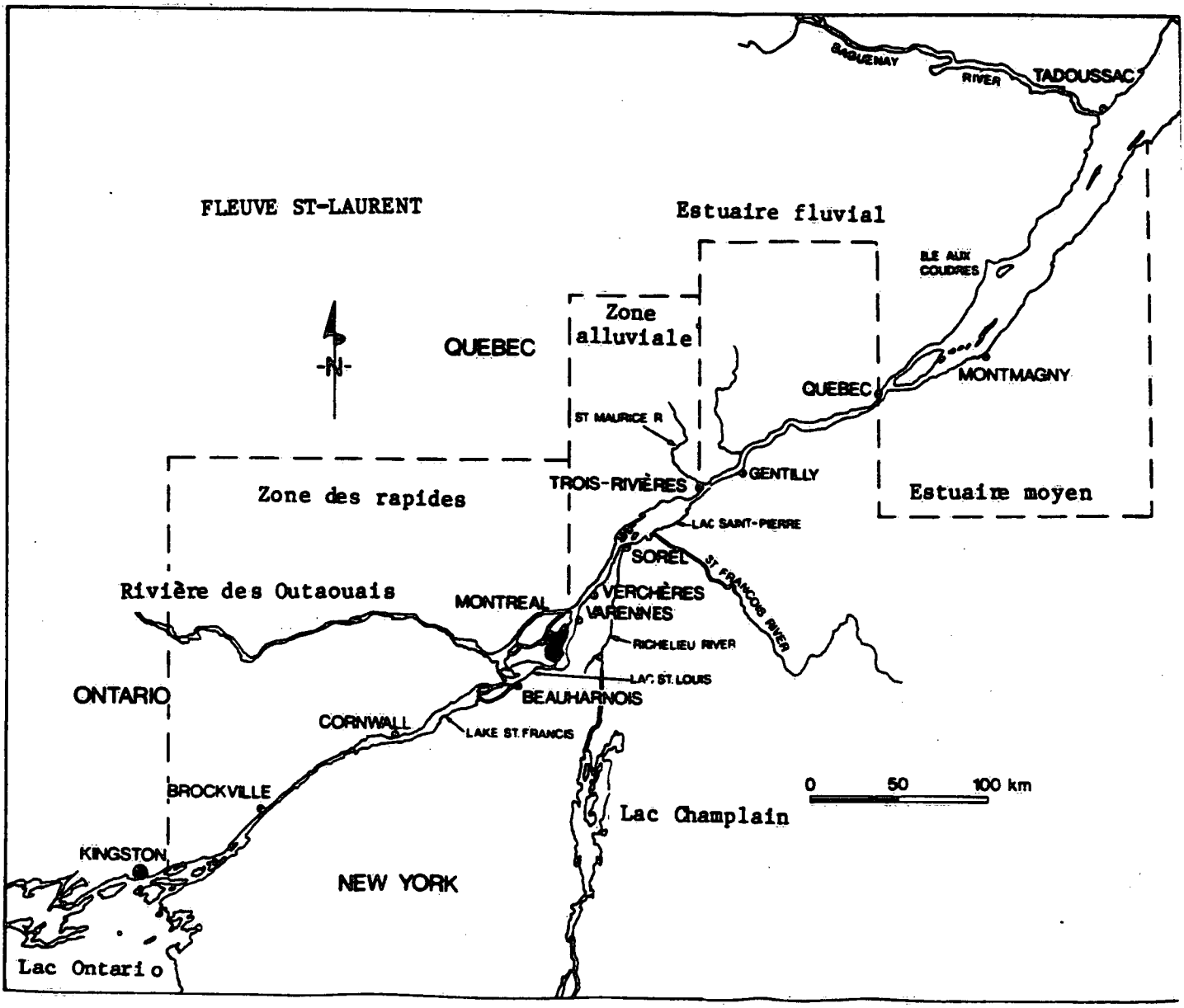


Figure 1. Carte du fleuve St-Laurent et de l'estuaire moyen.

OOFF Gat. Biblio. Env. Canada Library
310 028 221

Environment CANADA Environnement

Revue de la litérature et bibliographie des p
rocessus géologiques et des sédiments du Sain
COAKLEY, J. P. (JOHN PHILLIP), 1940-

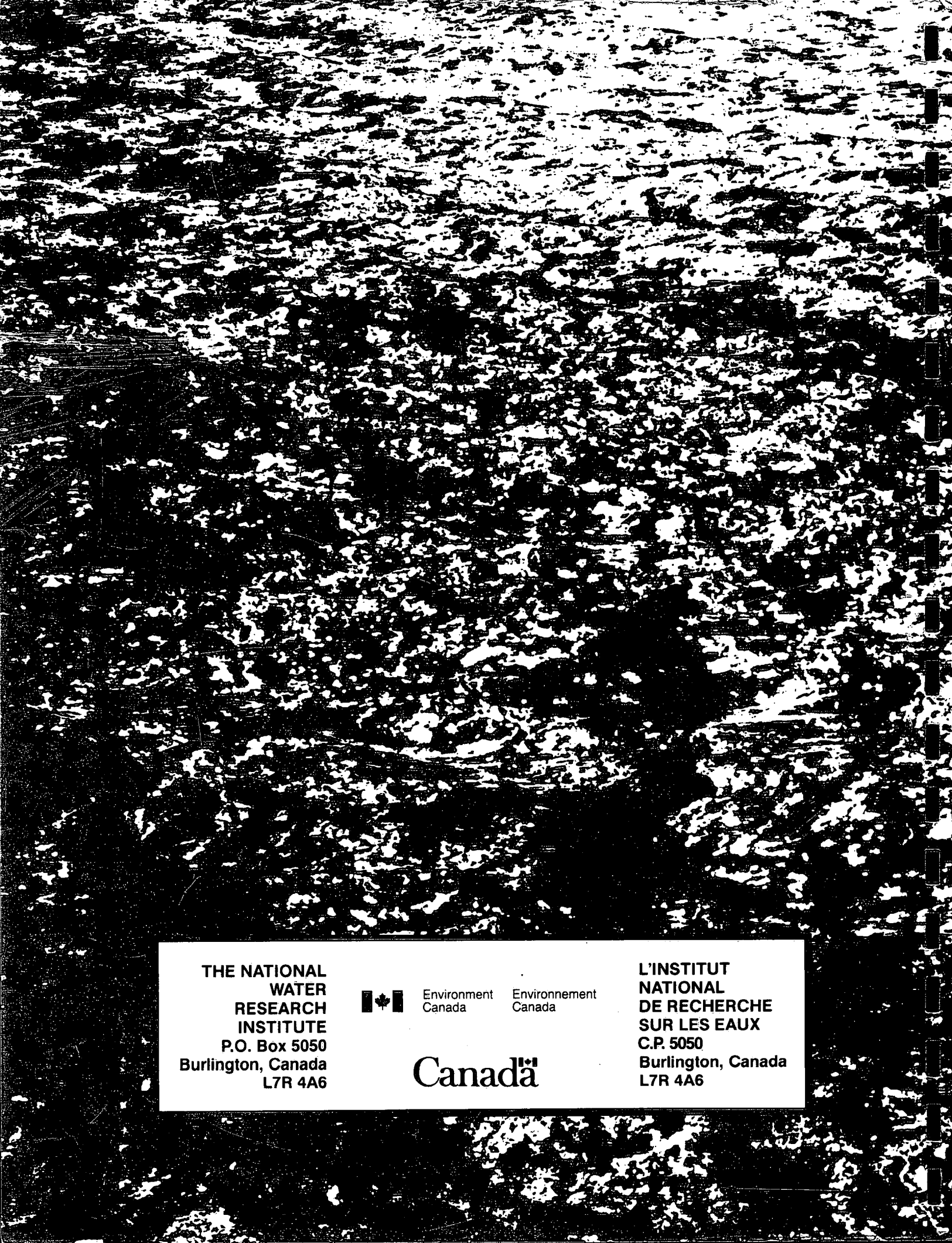
TD 226 N8714 NO. 89-07F 3005839J
OOFF

DUE DATE

MAY - 7 1991

201-6503 Printed in USA

ENVIRONMENT CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
LIBRARY - BIBLIOTHÈQUE



THE NATIONAL
WATER
RESEARCH
INSTITUTE
P.O. Box 5050
Burlington, Canada
L7R 4A6

Environment Canada
Environnement Canada

Canada

L'INSTITUT
NATIONAL
DE RECHERCHE
SUR LES EAUX
C.P. 5050
Burlington, Canada
L7R 4A6