

Article

« L'évolution du lit du Saint-Laurent dans le secteur de Contrecoeur (Québec) depuis un siècle »

Michel F. Lapointe

Géographie physique et Quaternaire, vol. 48, n° 1, 1994, p. 39-50.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032971ar>

DOI: 10.7202/032971ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

L'ÉVOLUTION DU LIT DU SAINT-LAURENT DANS LE SECTEUR DE CONTRECŒUR (QUÉBEC) DEPUIS UN SIÈCLE

Michel F. LAPOINTE, Département de géographie, Université McGill, 805, rue Sherbrooke ouest, Montréal (Québec) H3A 2K6.

RÉSUMÉ Des levés hydrographiques du gouvernement canadien datant de 1898, 1945 et 1988, ont été comparés afin d'établir la cartographie des changements survenus au lit du Saint-Laurent dans le secteur de Contrecoeur, à mi-chemin entre Montréal et Sorel. Depuis 1850, la dynamique hydrosédimentaire de ce tronçon long de 8 km a dû se rééquilibrer au fur et à mesure de l'agrandissement du chenal de navigation maritime. Au moyen d'un logiciel de géomatique, des modèles bathymétriques détaillés ont été élaborés à partir des cartes de levés historiques fournies par le Service hydrographique du Canada. Après ajustement des cadres géographiques et du zéro des cartes, les patrons spatiaux de changements bathymétriques consécutifs à l'érosion ou à la sédimentation ont pu être déterminés par comparaison de ces modèles. Les cartes qui en résultent illustrent les principales étapes de l'agrandissement de la voie maritime ainsi que l'évolution des dépôts de déblais de dragage. Il appert, par exemple, qu'un volume important de déblais laissé à la marge ouest du chenal entre 1898 et 1945 a été dispersé vers l'aval entre 1945 et 1988, après avoir été remis en suspension par les courants et les vagues en marge du chenal maritime. L'intérêt principal de notre étude réside néanmoins dans l'éclairage nouveau qu'il donne à la dynamique d'ensemble du lit fluvial, bien au delà du chenal dragué. Entre 1898 et 1988, de vastes secteurs du lit ont été recouverts de 0,5 à 1 m additionnel de sédiments. Le chenal central à l'ouest de l'île Saint-Ours semble particulièrement touché, le taux moyen de sédimentation y ayant été de 1,5 cm/a entre 1945 et 1988. L'instabilité du lit s'est accélérée depuis 1945 et semble être attribuable, en partie du moins, à la perturbation de l'équilibre hydro-sédimentaire causée par l'agrandissement répété du chenal maritime.

ABSTRACT *Bathymetric changes on the St. Lawrence River in the Contrecoeur area (Québec) since 1898.* Canadian government hydrographic surveys from 1898, 1945 and 1988 are compared to reveal long-term patterns of bathymetric change in the St. Lawrence River, in the Contrecoeur area between Montréal and Sorel. Since 1850, the hydraulic and sedimentary balance of this reach has been affected by repeated dredging to expand the main navigation channel. Using GIS software, detailed bathymetric models of the reach for each of the years 1898, 1945 and 1988 were produced by interpolation through the archival soundings for each of these periods provided by the Canadian Hydrographic Service. After careful adjustment of reference water planes and planimetric coordinate systems, maps of bed changes were derived by comparing the different models. Major expansions of the navigation channel can be followed as well as the evolution of the main dredge spoil areas. In particular, considerable volumes of dredge spoil deposited at the margin of the ship channel between 1898 and 1945 are seen to have been re-entrained and dispersed downstream by 1988. Most interestingly, the maps of bed changes reveal substantial rates of sediment deposition over much of the river bed, well away from the ship channel. Over wide areas, deposition of between 0.5 and 1 m of new sediment since 1898 is observed. Bed aggradation has been particularly intense in the central channel west of Ile Saint-Ours, where it has averaged 1.5 cm/year between 1945 and 1988. In part at least, this tendency to bed aggradation over much of the river may be a reaction to the man-made concentration of the flow in the enlarged ship channel.

ZUSAMMENFASSUNG *Die Entwicklung des Sankt Lorenz-Beckens seit einem Jahrhundert im Bereich von Contrecoeur (Québec).* Hydrographische Vermessungen von 1898, 1945 und 1988 wurden verglichen, um die Veränderungen im Bett des Sankt Lorenz im Bereich von Contrecoeur kartographisch festzuhalten. Seit 1850 musste die hydro-sedimentäre Dynamik dieses 8 km langen Stückes entsprechend der Verbreiterung der Seewegfahrrinne jeweils ein neues Gleichgewicht finden. Mit Hilfe einer geomatischen Software wurden detaillierte Tiefenmodelle erstellt, ausgehend von Karten historischer Vermessungen, die der kanadische hydrographische Service zur Verfügung stellte. Nach Abstimmung der geographischen Rahmen und der Planimetrie konnten durch Vergleich dieser Modelle die räumlichen Muster der Tiefenveränderungen aufgrund von Erosion oder Sedimentierung bestimmt werden. Die so entstandenen Karten illustrieren die wichtigsten Etappen der Vergrößerung des Seewegs sowie die Entwicklung der Ablagerungen von Baggeraushubmaterial. Es scheint, z.B. dass eine bedeutende Menge von Aushubmaterial, das man am westlichsten Rand der Fahrrinne zwischen 1898 und 1945 liess, zwischen 1945 und 1988 stromabwärts verstreut wurde, nachdem es durch Strömungen und Wellen am Rand des Seewegs wieder aufgelöst worden war. Das Hauptinteresse unserer Untersuchung besteht jedoch in dem neuen Licht, das sie auf die Gesamtdynamik des Flussbettes wirft, weit über die ausgebagerte Fahrrinne hinaus. Zwischen 1898 und 1988 wurden weite Abschnitte des Flussbettes mit einer zusätzlichen Sedimentschicht von 0,5 bis 1 m bedeckt. Die zentrale Fahrrinne westlich von der Insel St. Ours scheint besonders betroffen, die durchschnittliche Sedimentierungsrate war hier 1,5 cm/Jahr zwischen 1945 und 1988. Die Labilität des Flussbettes hat sich seit 1945 beschleunigt und scheint mindestens zum Teil auf die Störung des hydro-sedimentären Gleichgewichts durch die wiederholte Vergrößerung des Seewegs zurückzuführen zu sein.

INTRODUCTION

Le Saint-Laurent est une voie majeure d'accès de la côte atlantique vers l'intérieur du continent. Le fleuve a un débit moyen de l'ordre de $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ en aval de Montréal, où il évacue les eaux du bassin des Grands Lacs et de la partie méridionale des Laurentides. Au moyen d'une analyse des principaux levés hydrographiques disponibles pour la période 1898-1988, cette étude présente une cartographie détaillée des changements bathymétriques dans le secteur de Contrecoeur, situé entre Montréal et Sorel. Les divers mécanismes qui pourraient avoir contribué aux changements bathymétriques observés seront brièvement discutés. De plus, certaines conséquences environnementales associées aux patrons d'érosion et de sédimentation observés seront relevées.

Plusieurs travaux ont été consacrés à l'estuaire du Saint-Laurent (par ex. El-Sabh *et al.*, 1979; El-Sabh et Silverberg, 1990) mais peu d'études ont été faites sur la dynamique sédimentaire du tronçon fluvial entre Boucherville et le lac Saint-Pierre (Frenette *et al.*, 1989), au centre duquel se trouve le secteur de Contrecoeur (fig. 1). Ce tronçon constitue un vaste

habitat alluvial pour la faune ichthyenne et ailée aux portes mêmes de Montréal (Lehoux *et al.*, 1985; Benoit *et al.*, 1987). Or, la granulométrie et le degré de contamination des sédiments du fond, de même que la dynamique des courants et la morphologie changeante du lit fluvial, constituent un ensemble de facteurs déterminants pour l'écologie du milieu aquatique. La présente étude apporte un éclairage sur le régime sédimentaire et l'évolution du lit dans cet habitat.

Le secteur à l'étude s'étend sur 8 km et est situé à environ 25 km en aval de l'île de Montréal (fig. 1). D'une largeur de 2 à 4 km, le fleuve y présente une morphologie assez complexe. Le lit, marqué d'îles et de hauts-fonds, est parcouru au droit de Contrecoeur par quatre chenaux importants : deux sont adjacents aux rives et les deux autres, plus centraux, sont balisés et servent à la navigation commerciale et de plaisance. À la suite du relèvement isostatique postglaciaire, le lit du fleuve s'est progressivement incisé dans les argiles de la Mer de Champlain recouvrant la plaine de Montréal (MacPherson, 1968). Les alluvions à dominance sableuse recouvrent ce substrat argileux alors que là où les courants sont plus faibles s'étendent de vastes zones de sables boueux (Frenette *et al.*, 1974).

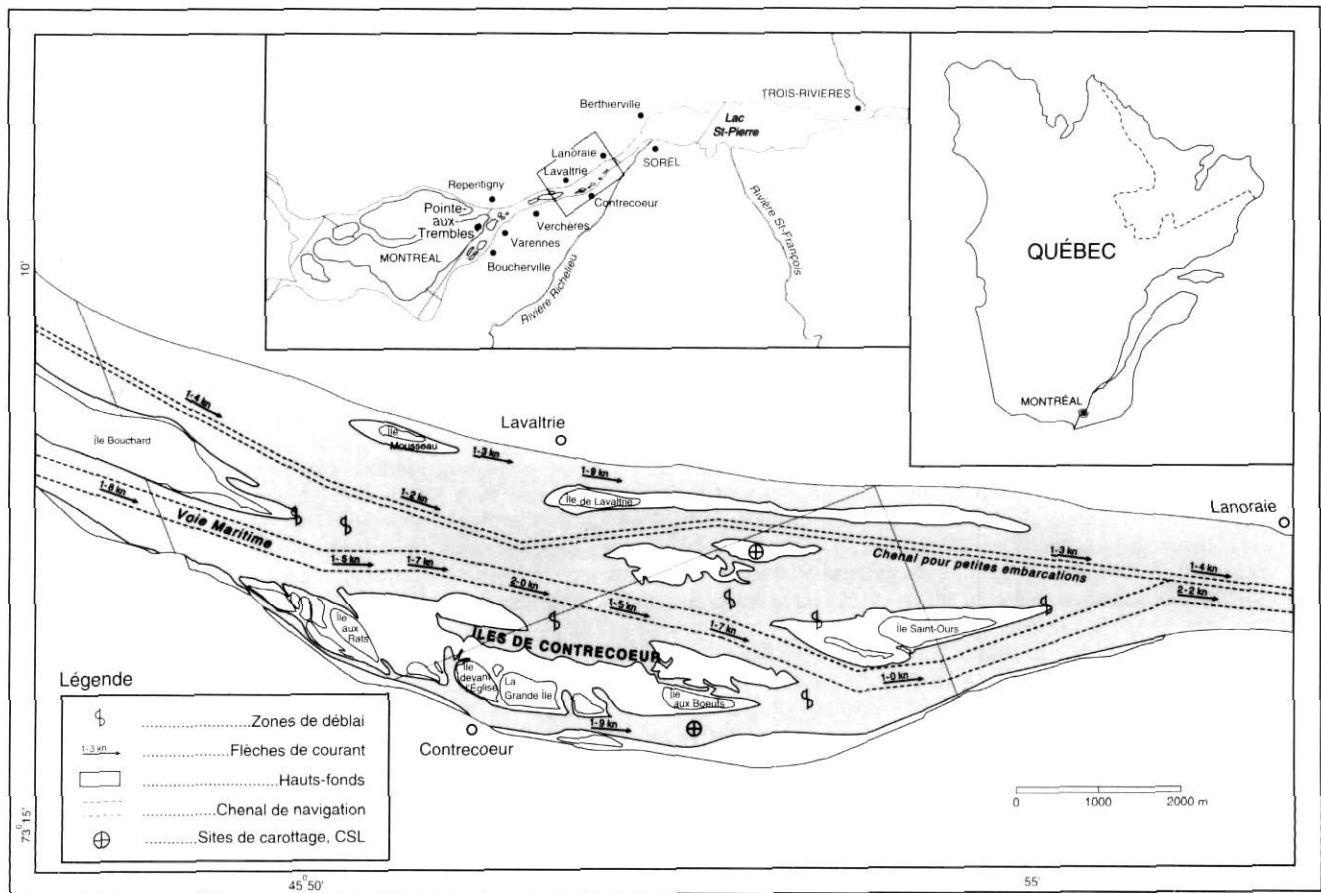


FIGURE 1. Carte de localisation de la région à l'étude. Le secteur analysé va de l'île de Lavaltrie à l'île Saint-Ours. Les informations sur les courants (en nœuds), les hauts-fonds, les zones de déblais et les chenaux balisés sont extraites des cartes n^{os} 1338-1339 du Service hydrographique du Canada. Deux sites de carottages effectués pour le Centre Saint-Laurent (CSL) sont indiqués.

Map of the study area. The focus of the study is the reach separating île de Lavaltrie from île Saint-Ours. Information on currents (in knots), shoals, dredge spoil zones and buoyed channels is taken from Canadian Hydrographic Service maps Nos. 1338-1339. Two locations are shown where core samples were taken for the Centre Saint-Laurent.

Le fleuve, dans ce secteur, a été sensiblement modifié par l'homme, et son régime hydraulique et sédimentaire a dû s'adapter à ces perturbations. En effet, depuis 1850 le tronçon à l'étude a été le lieu de nombreux et importants travaux de dragage visant à agrandir (approfondir autant qu'élargir) la voie de navigation maritime (Frenette *et al.*, 1989). Les levés bathymétriques détaillés de 1898, 1945 et 1988 que nous comparons ici ont été effectués en vue de ces travaux.

Certains aménagements projetés risquent d'empiéter sur le périmètre fluvial et de perturber davantage la dynamique sédimentaire du tronçon comme, par exemple, le projet de quai pour méthaniers à Varennes (consortium Soligaz) ou l'expansion du port de Montréal dans le secteur-même des îles de Contrecoeur. Une compréhension globale de la dynamique sédimentaire actuelle du tronçon est requise pour bien prévoir toutes les conséquences de tels aménagements.

APPROCHE GÉNÉRALE

L'approche analytique retenue est conceptuellement très simple, quoique d'application assez laborieuse. Elle comprend deux étapes :

1. Par interpolation à partir des levés bathymétriques d'archives, des modèles numériques de terrain (MNT) décrivant la bathymétrie du fleuve dans le tronçon d'étude sont d'abord élaborés pour chacune des années 1898, 1945 et 1988.

2. Des cartes du lit fluvial montrant l'érosion et l'accumulation sont ensuite établies en comparant ces modèles bathymétriques entre eux. Ce faisant, une attention particulière est portée à la vérification et à l'ajustement des cadres de référence horizontaux et verticaux (zéro des cartes) pour chaque époque ainsi qu'à l'analyse des erreurs potentielles.

L'étude illustre finalement le riche potentiel en renseignements d'intérêt géomorphologique et environnemental contenu dans les archives hydrographiques sur le fleuve, particulièrement comme complément à des études de terrain portant sur des problèmes de nature locale.

LES DONNÉES D'ARCHIVES

Les levés hydrographiques (1898, 1945 et 1988) utilisés ici ont été effectués par le gouvernement canadien en prévision des principaux travaux d'élargissement et d'approfondissement de la voie maritime du Saint-Laurent. Le chenal principal (voir la bathymétrie en 1898, fig. 4, à gauche) vers 1850 a été creusé une première fois à 5 m sur une largeur de 76 m, facilitant ainsi le transport maritime jusqu'à Montréal (Frenette *et al.*, 1989). Les levés bathymétriques de 1898 ont été réalisés en vue de l'agrandissement subséquent du chenal à 8,4 m de profondeur sur 140 m de largeur, travaux qui furent complétés vers 1907. Le deuxième ensemble de levés utilisé dans l'étude, datant de 1945, a précédé un nouveau dragage d'expansion (complété vers 1952) qui a porté le chenal à 10,7 m sur 170 m. Un dernier élargissement majeur du chenal maritime fut réalisé vers 1970, le portant à 245 m. Les levés les plus récents au moment de notre étude (ceux de 1988) couvraient tout le tronçon à l'étude à l'exception de la zone immédiate des îles de Contrecoeur, près de la rive sud.

Ces levés d'archives nous ont été gracieusement fournis par le Service hydrographique du Canada (institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Québec). Les deux plus anciens levés sont disponibles sur carte de mylar (minutes 214 à l'échelle de 1/6000 pour 1898; minutes 1650 à l'échelle de 1/12000 pour 1945), alors que les données plus récentes (minutes 5352, pour 1988) étaient disponibles sous forme de fichier numérique, sur support magnétique. Des extraits des cartes d'archives de 1898 et 1945 sont présentés aux figures 2 et 3, illustrant l'agencement des lignes de sondage et la cartographie du rivage ancien visible sur ces cartes.

PRÉCISION DES SONDAGES D'ARCHIVES

Aux fins de cette étude, il importe de distinguer les erreurs de sondage qui sont aléatoires de celles qui sont systématiques. Au delà du soin pris dans la lecture de l'instrument, des facteurs complexes et variables, tels la fermeté du fond ou la force du courant et l'intensité du transport sédimentaire, peuvent influencer le niveau d'erreur aléatoire à chacun des points d'un sondage hydrographique. Les archives consultées ne donnent pas d'informations précises à ce sujet. Il est d'usage général de noter un levé de terrain avec une résolution numérique correspondant au moins approximativement à sa précision, c'est-à-dire à sa variabilité sur plusieurs répétitions de la mesure au même endroit. Les sondages de 1898 ont été effectués à l'aide d'une ligne lestée et les profondeurs ont été rapportées aux minutes au dixième de pied (une résolution équivalente à 0,3 dm). Les deux dernières grandes campagnes de sondage, celles de 1945 et 1988, ont été réalisées à l'aide d'un écho sondeur acoustique; les sondages ont été portés aux minutes avec une résolution d'un pied (3 dm) et d'un décimètre, respectivement.

Les erreurs *aléatoires* sur chaque sondage n'influencent que peu l'estimation du niveau moyen du lit dans une zone couverte par plusieurs sondages, puisqu'elles tendent à s'annuler les unes les autres. En effet, les incertitudes liées à la résolution des lectures ou à d'autres sources d'imprécision tendent à être indépendantes d'un point sondé à l'autre. Par contre, toute erreur systématique portant sur l'ensemble des sondages dans un même secteur pourrait avoir un effet immédiat sur les comparaisons bathymétriques effectuées. De fait, l'imprécision sur la profondeur moyenne d'un secteur couvert par plusieurs sondages dépend directement de ces erreurs systématiques. Celles-ci peuvent survenir, par exemple, par suite d'une correction fautive de l'effet du courant sur les levés à la ligne lestée ou d'une calibration imparfaite de l'échosondeur. Aucune information sur ces incertitudes n'apparaît dans les minutes d'archives. Cependant, l'erreur *systématique* de calibration (à ne pas confondre avec l'erreur variable sur chaque lecture) sur des levés hydrographiques faits selon les règles de l'art n'excède généralement pas le décimètre compte tenu des faibles profondeurs dont il est question ici.

La densité des points de sondage apparaissant dans les minutes de 1898, 1945 et 1988 est considérable (voir fig. 2 et 3) : l'espacement des points est généralement de l'ordre de 50 à 100 m pour l'ensemble de la zone à l'étude. Lors des divers levés, la localisation des points de sondage a été faite

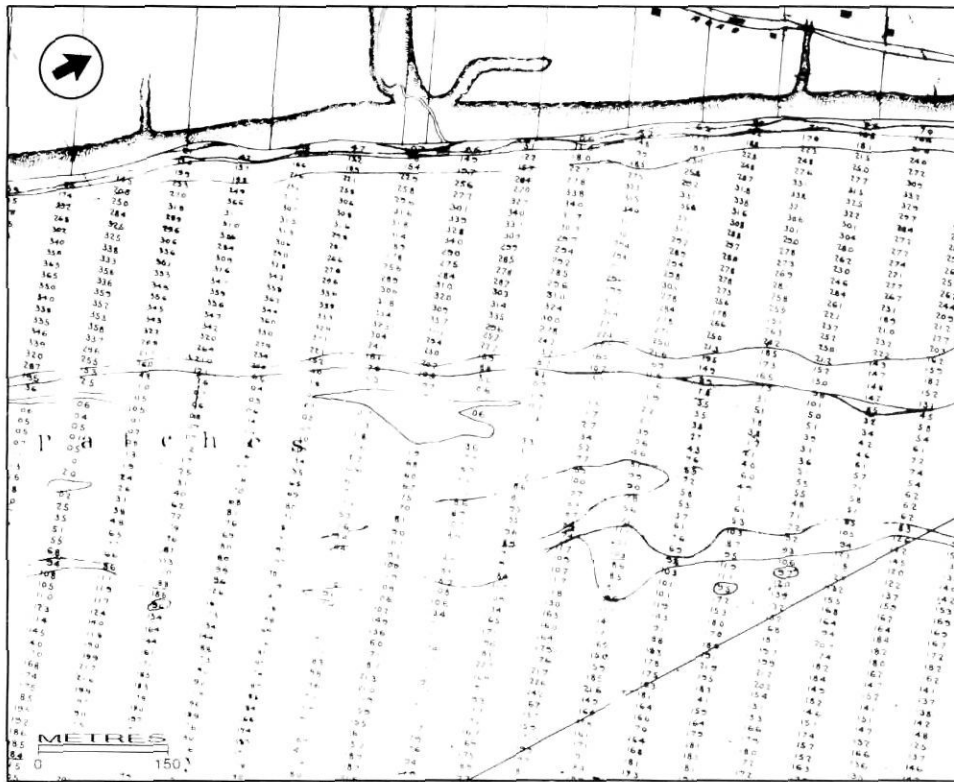


FIGURE 2. Extrait de la carte des levés hydrographiques de 1898 (minutes 214, archives du Service hydrographique du Canada). Les sondages sont en pieds et dixièmes de pied. La zone représentée couvre une partie du chenal profond et d'un haut-fond le long de la rive nord, au droit de l'île Saint-Ours.

Fragment of survey minutes #214 showing hydrographic soundings collected in 1898 (Canadian Hydrographic Service archives). Soundings are in feet and tenths. The area shown includes part of the left bank of the river, across from Ile Saint-Ours.

par triangulation par rapport à des points de référence aux coordonnées connues sur la rive. Notons de plus que les coordonnées géographiques des minutes de 1898 ont été transformées pour les faire coïncider avec le système de référence géodésique (NAD 1927) employé en 1945 et 1988.

MÉTHODOLOGIE

Le logiciel de géomatique GRASS (version 4.0), fonctionnant sur workstation SUN 3/60, a été retenu pour cette analyse. La numérisation des sondages bathymétriques apparaissant sur les cartes d'archives a été faite à l'aide d'une tablette CalComp 9500. Les cartes bathymétriques qui résultent de l'analyse ont été produites sur imprimante Tektronix 469.

PRÉPARATION DES MODÈLES BATHYMÉTRIQUES POUR 1898, 1945 ET 1988

Les coordonnées des sondages de 1898 et 1945 ont d'abord été extraites des cartes fournies par le Service hydrographique du Canada au moyen d'une tablette de numérisation. Le cadre de référence géographique utilisé lors de la numérisation était constitué de 4 à 10 points de contrôle aux latitudes et longitudes rapportées avec précision sur les cartes d'archives. Une fois captées sous forme de deux coordonnées géographiques UTM et d'une valeur de profondeur, les sondages ont constitué les données de base pour le traitement ultérieur. Les données de 1988, quant à elles, déjà disponibles sous forme numérique, étaient localisées par rapport à la même grille UTM. À cette étape, toutes les valeurs de profondeur ont été entrées au décimètre près, soit la résolution verticale retenue dans l'analyse subséquente.

Pour chacune des années, les sondages ont ensuite été inscrits à l'intérieur d'une grille rectangulaire couvrant toute la zone à l'étude. La grille utilisée était constituée de cellules de 10 m de côté. Cette résolution horizontale, maintenue tout au long de l'étude, est de l'ordre de l'incertitude de la localisation relative des points de sondage apparaissant sur les cartes. Un modèle bathymétrique complet avec résolution horizontale de 10 m et verticale de 1 dm a ainsi été élaboré pour chacune des années 1898, 1945 et 1988, par interpolation à travers le champ de sondages d'archives. L'algorithme d'interpolation utilisé (« GSURFACE », dans GRASS 4.0) attribue à chaque cellule de la grille spatiale une valeur de profondeur égale à la moyenne pondérée des douze sondages les plus rapprochés de la cellule. Compte tenu de la densité des sondages d'archives, cette fenêtre de pondération recouvre en général les données provenant de deux à trois lignes de sondage adjacentes (voir fig. 2 et 3). Les facteurs de pondération dans cette moyenne sont inversement proportionnels à la distance au carré entre la cellule de grille considérée et un sondage avoisinant.

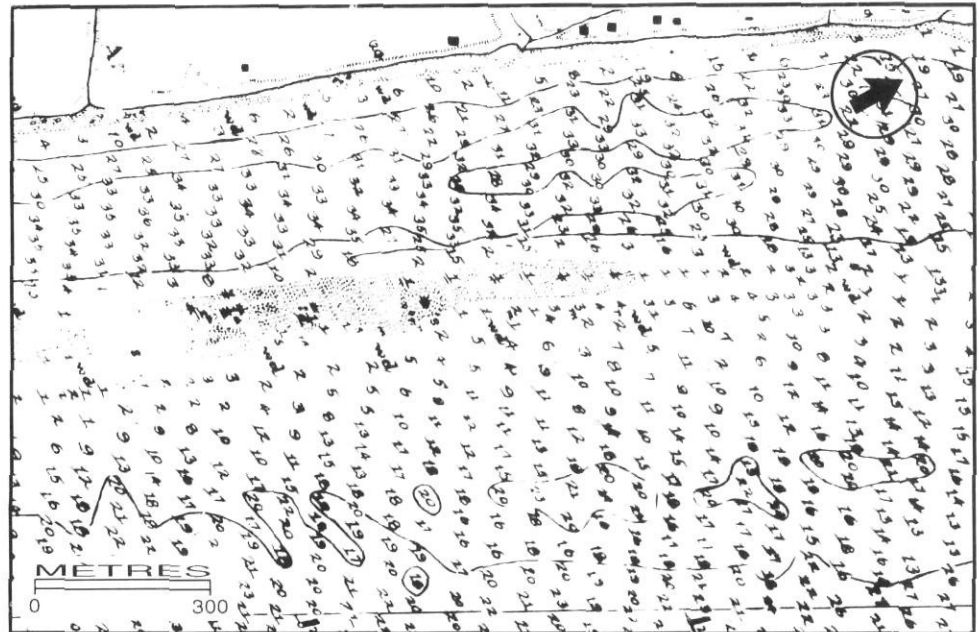
Les modèles obtenus par interpolation ont ensuite été épurés en appliquant une moyenne courante de 90 m × 90 m à la matrice de profondeurs résultant de la première opération. Cette dernière transformation a permis d'atténuer les faibles oscillations, souvent factices, entraînées par l'interpolation des sondages réel, et a fait ressortir les tendances locales moyennes.

PRÉPARATION DES CARTES DE CHANGEMENTS BATHYMÉTRIQUES

Afin de pouvoir comparer des levés faits à différents niveaux de crue, on doit ramener les sondages au même

FIGURE 3. Extrait de la carte des levés hydrographiques de 1945 (minutes 1650, archives du Service hydrographiques du Canada; sondages en pieds). La zone représentée est approximativement la même que celle de la figure 2.

Fragment of survey minutes #1650 showing hydrographic soundings collected in 1945 (Canadian Hydrographic Service archives). Soundings are in feet. The area shown is approximately the same as in Figure 2.



niveau de référence du plan d'eau (le « zéro des cartes »). Les minutes de 1898 et 1945 étaient déjà réduites à un zéro des cartes commun, mais l'ajout d'un pied (3,05 dm) à tous les sondages de 1898 et 1945 a été nécessaire pour adapter ces derniers au zéro des cartes de 1988 (Service hydrographique du Canada, 1991, comm. pers.) Le niveau du fleuve étant, lors des levés, ramené par arpentage à un niveau de référence géodésique sur la rive, le degré d'incertitude quant à l'ajustement des niveaux de référence est généralement inférieur au décimètre.

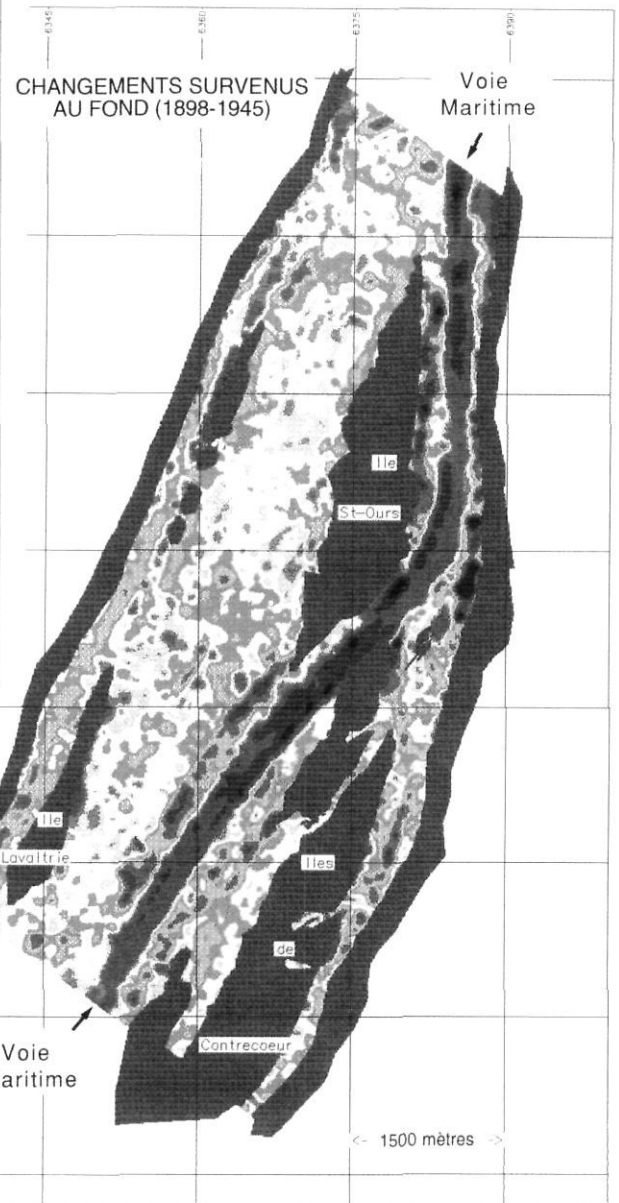
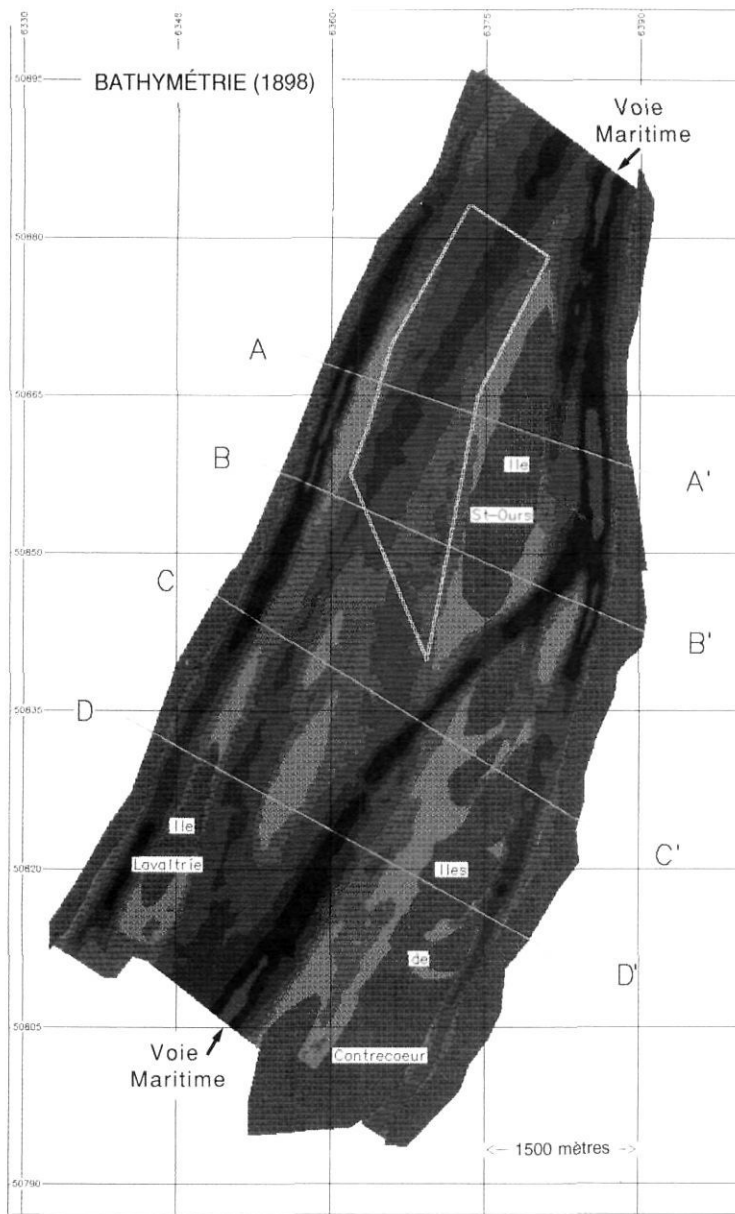
Avant de comparer les profondeurs figurant dans les divers modèles, il est important aussi de s'assurer que les systèmes de référence géographiques de chacun d'eux coïncident. Ceci a pu être vérifié sommairement, pour les années 1898 et 1945, en comparant les coordonnées de points de repère comme les clochers d'église, les routes principales, etc., numérisés sur les différentes cartes d'archives. Les déplacements apparents de ces repères fixes, dus aux diverses erreurs de localisation (erreurs de repérage sur le terrain, d'imprécisions cartographiques et d'erreurs de numérisation) variaient de 5 à 20 m. Cette vérification directe a été impossible dans le cas des données de 1988 puisqu'aucun point de repère sur rive n'a été inclus dans les minutes disponibles sur support magnétique. Néanmoins, la précision des techniques de localisation électronique est telle que les données de 1988 devraient se conformer au système de coordonnées de 1945, avec une erreur horizontale inférieure à la résolution de 10 m retenue. Les cadres de référence horizontaux (coordonnées géographiques) et verticaux (zéro des cartes) étant concordants pour les divers modèles, les changements bathymétriques (érosion ou accumulation) en un point géographique donné ont été estimés par simple soustraction des profondeurs. Des cartes ont été préparées pour illustrer les changements bathymétriques survenus entre 1898 et 1945, 1945 et 1988 et 1898 et 1988.

INCERTITUDES TOUCHANT LES CARTES DE CHANGEMENTS BATHYMETRIQUES

L'erreur d'ensemble touchant toute estimation de changements bathymétriques dépend d'abord de la discordance résiduelle entre les niveaux de référence verticaux (ajustement du « zéro des cartes ») utilisés dans les modèles comparés. De plus, toute différence systématique de calibration entre les sondages des différentes années contribuera aussi à cette erreur. Comme nous l'avons vu, ces diverses erreurs systématiques générales ne doivent vraisemblablement pas dépasser quelques décimètres.

Les cartes de changements bathymétriques sont cependant beaucoup plus imprécises dans les secteurs où les pentes du lit sont fortes. En raison de l'incertitude dans le repérage absolu des sondages (de l'ordre de 10 à 20 m) un secteur donné sur le terrain pourrait être déplacé très légèrement dans un modèle par rapport à un autre. Or, là où les pentes du lit sont particulièrement accusées, de très faibles distorsions spatiales peuvent produire des erreurs substantielles dans l'estimation des changements bathymétriques.

Dans quelques zones précises sur les flancs submergés des chenaux les plus profonds, les pentes du lit transversales à l'écoulement fluvial atteignent 1/20 (soit 3°) dans le secteur à l'étude. Un déplacement horizontal de l'ordre de 20 m entre deux des modèles historiques, s'il était orienté perpendiculairement à l'axe de tels chenaux, pourrait produire une erreur de 1 m (soit $20 \text{ m} \times 1/20 \text{ m}$) dans l'estimation des changements bathymétriques touchant chacun des flancs d'un chenal étroit et profond (l'érosion, factice dans ce cas-ci, sur un versant faisant pendant à une accumulation du même ordre sur le versant opposé). Toutefois, les zones où se trouvent de telles pentes, et donc sujettes à de telles erreurs, sont très limitées (voir la carte bathymétrique de la fig. 4). Pour les étendues beaucoup plus vastes du lit où les pentes de fond



Profondeurs (m)

1.....	0,1 - 2,0 m
2.....	2,1 - 4,0 m
3.....	4,1 - 6,0 m
4.....	6,1 - 8,0 m
5.....	8,1 - 10,1 m
6.....	10,1 - 12,0 m
14.....	Îles et hauts-fonds

FIGURE 4. À gauche, bathymétrie du Saint-Laurent dans le secteur à l'étude en 1898, élaborée par interpolation à partir des sondages d'archives (grille UTM). Les coupes transversales (A-A', etc.) et le secteur délimité en blanc à l'ouest de l'île Saint-Ours sont examinés plus loin dans le texte. À droite, carte de l'érosion (bleu) et de l'accumulation (vert) sur le lit du fleuve pour la période 1898-1945 (47 ans). Carte produite par comparaison des modèles bathymétriques de 1898 et de 1945, après ajustement du zéro des cartes et vérifications du cadre positionnel.

At left, bathymetry of the St. Lawrence in the study area in 1898, obtained by interpolation through the set of archived soundings. Cross-sectional lines (A-A', etc.) and the area outlined in white, west of Ile Saint-Ours, are discussed later in the text. At right, map of bathymetric changes for the period 1898-1945 (47 years): erosion is shown in blue and sedimentation in green. Produced by comparison between the bathymetric models for 1898 and 1945 after adjustment of reference water planes and horizontal positioning.

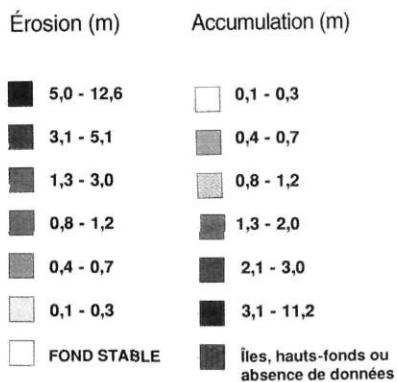
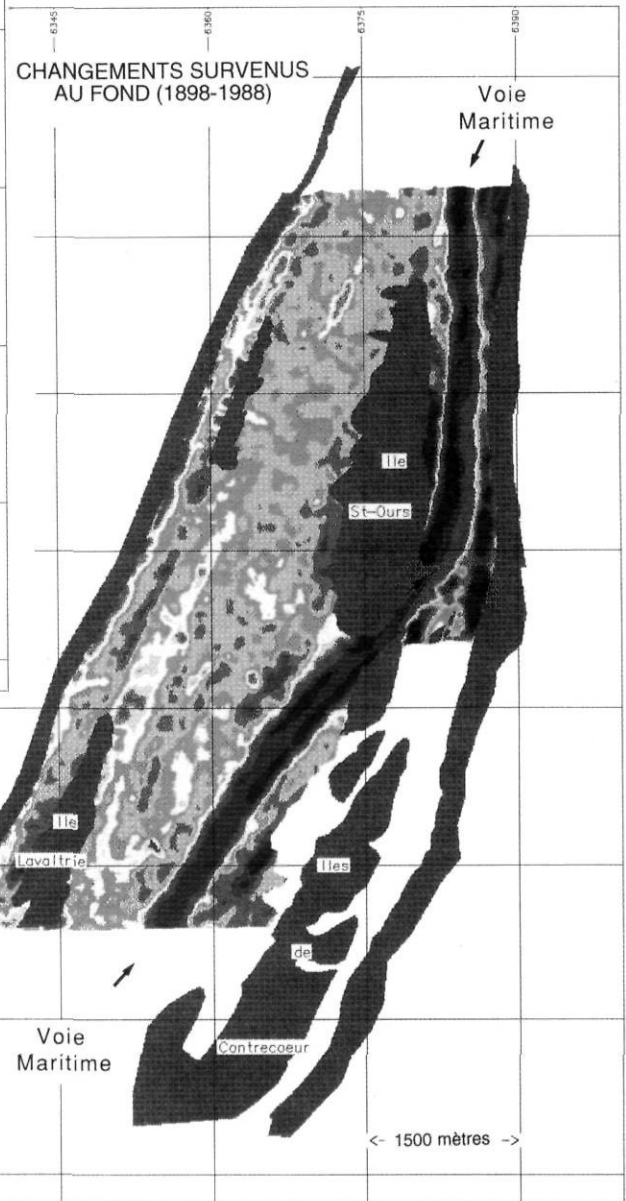
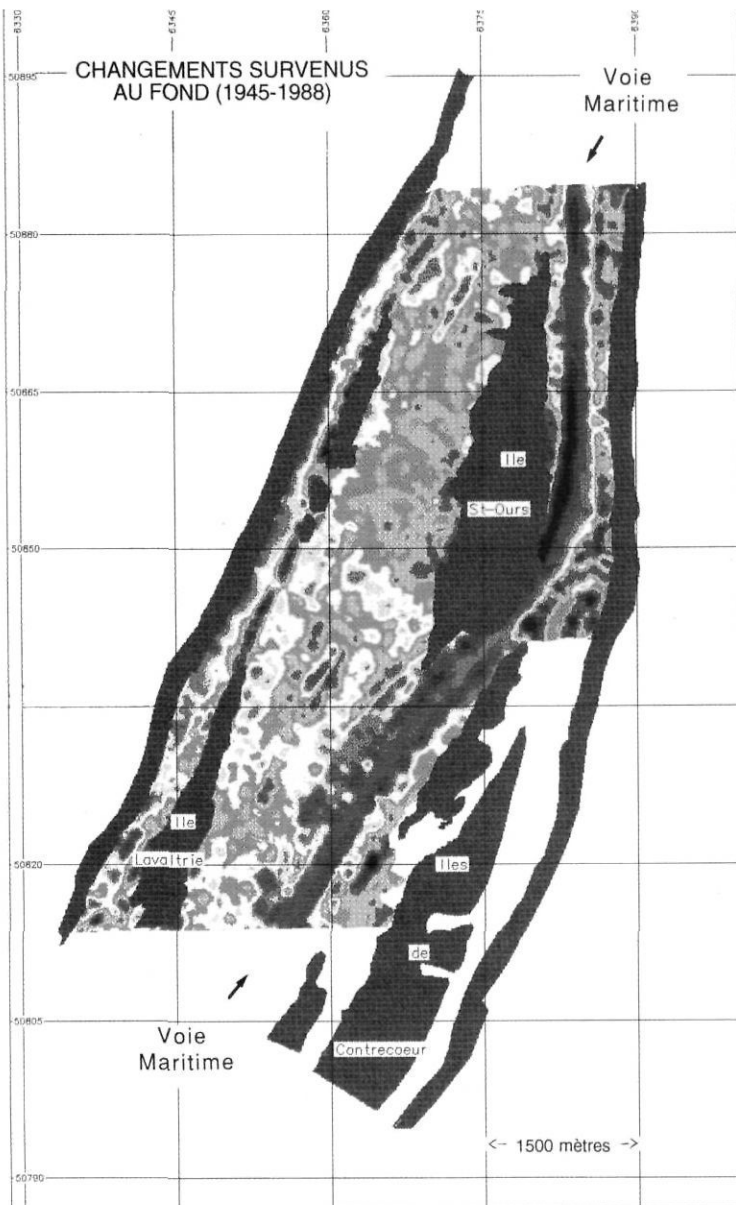


FIGURE 5. Cartes de l'érosion (bleu) et de l'accumulation (vert) sur le lit du Saint-Laurent pour les périodes de 1945-1988 (43 ans), à droite, et de 1898-1988 (90 ans), à gauche. Cartes produites par comparaison des modèles bathymétriques de 1898, 1945 et 1988, après ajustement du zéro des cartes et vérification du cadre positionnel.

Maps of bathymetric changes for the period 1945-1988 (43 years) at right, and 1898-1988 (90 years) at left. Erosion is shown in blue and sedimentation in green. Produced by comparison among the bathymetric models for 1898, 1945 and 1988, after adjustment of reference water planes and horizontal positioning.

sont faibles ou modérées, le degré d'incertitude dans les changements bathymétriques attribuable aux distorsions spatiales des modèles ne dépasserait pas 1 à 2 dm.

RÉSULTATS

Le modèle bathymétrique pour l'année 1898 obtenu par interpolation à partir des levés d'archives apparaît à la figure 4, à gauche. Les profondeurs, ramenées au zéro des cartes de 1988, ont été regroupées en sept classes. Aucune extrapolation hors de la zone couverte par les sondages n'a été permise : les îles et les haut-fonds pour lesquels il n'y a pas de sondage apparaissent en brun. Le chenal principal formant la voie maritime (déjà légèrement agrandi vers 1850) apparaît clairement sur la bathymétrie de 1898, de même que les trois autres chenaux de plus de 4 m de profondeur présents au droit de l'île de Lavaltrie.

Les frais élevés de publication en couleur ne nous permettent pas de reproduire ici les modèles bathymétriques préparés pour les années 1945 et 1988. Les changements bathymétriques précis survenus entre 1898 et les deux derniers sondages apparaissent sur les cartes de changements survenus au fond de 1898 à 1945 (fig. 4, à droite), de 1945 à 1988 et de 1898 à 1988 (fig. 5). Treize classes de changements bathymétriques figurent sur les cartes : les bleus identifient les zones d'érosion, les verts les zones d'accumulation; les tons plus foncés reflètent des intensités plus grandes. Les secteurs où les comparaisons ne peuvent être faites apparaissent en brun (hauts-fonds et îles) ou en blanc (là où aucun sondage n'a été effectué en 1988).

La figure 6 présente quatre coupes transversales du fleuve extraites des modèles numériques élaborés précédemment. Le profil du fond aux trois époques, fortement exagéré, est indiqué par différents traits. La localisation de ces coupes transversales apparaît sur la carte bathymétrique de 1898 (fig. 4, à gauche).

Les figures 4, 5 et 6 révèlent des changements bathymétriques substantiels, variant d'un demi à plusieurs mètres sur de grandes étendues du lit fluvial. Dans la plupart des secteurs touchés, les pentes du fond sont faibles à modérées (inférieures à 2 %). Ces changements semblent donc trop importants pour être dus uniquement aux sources d'erreur précédemment décrites. Par contre, les indications d'érosion et de sédimentation ne touchant que les marges du chenal profond en rive gauche peuvent être trompeuses, compte tenu de l'incertitude associée à l'estimation des changements dans les secteurs à forte pente (voir profils A et B, fig. 6 et cartes de changements au fond, fig. 4 et 5).

ÉVOLUTION DU CHENAL MARITIME ET DE SES MARGES IMMÉDIATES

Les figures 4 et 5 illustrent bien, en différents tons de bleu foncé, l'ampleur du dragage du chenal maritime effectué au fil du siècle. L'élargissement important et répété du chenal qui a eu lieu au sud et à l'est de l'île Saint-Ours est particulièrement notable (voir aussi le profil B, fig. 6). Les déblais de dragage rejetés près du chenal maritime apparaissent en vert foncé. Les plus épaisses accumulations de déblais (vert plus

foncé) se trouvent à la marge immédiate des zones les plus intensément draguées (bleu foncé), comme par exemple à l'est de l'île Saint-Ours. Des accumulations de quelques mètres de déblais sur les marges du chenal navigable apparaissent aussi distinctement sur les profils C et D (fig. 6).

On remarquera sur les profils C et D que certaines accumulations de déblais apparaissent entre 1898 et 1945 sont absentes des profils de 1988. Ces sédiments ont pu être remis en transport par les vagues (causées par le vent ou le batillage) ainsi que par les courants fluviaux actifs en marge du chenal principal, surtout depuis l'élargissement important réalisé entre 1950 et 1970. D'importants volumes de déblais ont ainsi été laminés du lit fluvial entre 1945 et 1988 à l'ouest du chenal, en amont de l'île Saint-Ours. La zone dans laquelle cette remobilisation a été le plus intense apparaît clairement (en tons de bleu pâle) sur la carte des changements de 1945-1988 (fig. 5, à gauche).

La remise en transport de déblais de dragage peut avoir des conséquences environnementales fâcheuses si ceux-ci sont contaminés, la contamination pouvant alors être dispersée sur de vastes étendues en aval de l'aire originale de déblai. Dans le tronçon à l'étude, les sédiments excavés lors des travaux d'expansion du chenal maritime contenaient vraisemblablement une part importante d'argiles marines d'âge pléistocène, donc libres de contamination anthropique, mêlée à des alluvions sableuses récentes et peut-être polluées. Éventuellement, des analyses de carottes peuvent être nécessaires pour préciser la teneur en contaminants d'accumulations historiques de déblais.

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE GLOBALE DU TRONÇON

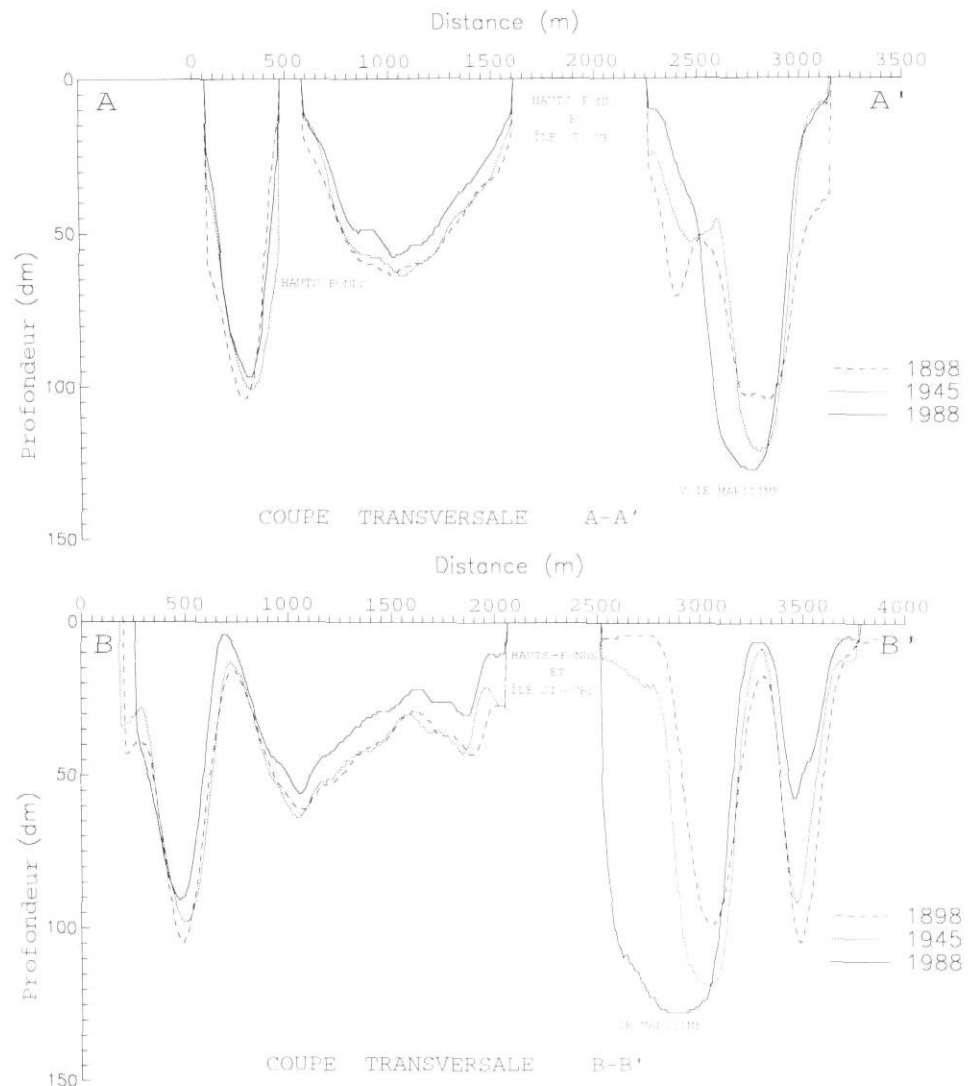
Ormis les changements survenus aux marges du chenal maritime reliés au dragage, les cartes de changements bathymétriques révèlent qu'une part importante du lit, loin des zones de déblais de dragage, a été recouverte de 0,4 à 1,2 m de sédiments depuis 1898 (en vert pâle sur les cartes). Ces dépôts extensifs apparaissent aussi, notamment, sur les profils A et B (fig. 6), dans le secteur central, à l'ouest de l'île Saint-Ours. Les cartes de changements 1898-1945 et 1945-1988 révèlent pour l'ensemble du secteur à l'ouest du chenal maritime (fig. 4, à droite, et 5, à gauche) une sédimentation localement appréciable, avant 1945, et qui va s'accroissant au cours du dernier demi-siècle. Sur un secteur de 3,4 km² du chenal central à l'ouest de l'île Saint-Ours délimité en blanc sur la figure 4, le rythme d'accumulation moyen est passé de 1,8 dm pendant les 47 années antérieures à 1945 (pour un taux moyen de 0,4 cm/a), à 6,6 dm pendant les 43 années subséquentes (soit 1,5 cm/a). Dans ce seul secteur, 2,8 millions m³ de sédiments ont été mis en place sur le lit en 90 ans. De tels rythmes d'accumulation, touchant de vastes secteurs du lit fluvial, sont spectaculaires du point de vue géomorphologique. En effet, en un siècle à peine, la profondeur à l'étiage de ce segment du chenal central a été réduite de 10 à 20 % (voir profils A et B, fig. 6).

ESTIMATIONS DU RYTHME DE SÉDIMENTATION PAR CAROTTAGE

Peu d'autres bases de données sur les changements bathymétriques du fleuve offrent une résolution ou une

FIGURE 6. Coupes transversales (A-A', B-B') montrant l'évolution du lit du Saint-Laurent pendant les périodes de 1898-1945-1988. Données extraites des modèles bathymétriques élaborés pour chacune des périodes. Les tracés des profils A à D est visible sur la figure 4 (à gauche). Exagération verticale : 150X.

River cross-sections showing the evolution of the channel bed during the period 1898-1945-1988. Data extracted from the bathymetric models prepared for each of these years. Cross-sectional locations are shown on Figure 4 (left). Vertical exaggeration: 150X.



couverture spatiale équivalente à celle obtenue ici. Différentes techniques de datation ayant recours à des traceurs géochimiques ou radiométriques permettent cependant d'estimer, à partir d'une carotte de sédiments récents, le rythme de sédimentation à un endroit précis du fond d'une rivière ou d'un lac. De telles analyses peuvent fournir des informations précieuses à la fois sur la chronologie d'accumulation, la granulométrie et le régime d'écoulement associé à ces dépôts; elles ont par contre le désavantage d'être coûteuses et de ne rendre compte que des conditions en un point précis du lit. Or, les patrons spatiaux d'érosion et d'accumulation peuvent être assez complexes en milieu fluvial et les estimations ponctuelles obtenues par carottage ne peuvent être extrapolées facilement à de grands secteurs.

Seules trois datations de carottes ont été publiées pour le secteur à l'étude. Malheureusement, la localisation des sites de carottage dans la vaste zone fluviale n'a été rapportée qu'approximativement; ces estimations ponctuelles ne pourront donc être comparées qu'aux valeurs moyennes rapportées sur les figures 4 et 5 pour le secteur général du lit d'où proviennent les carottes. Quoique trop peu nombreuses pour corroborer les cartes de changements des figures 4 et 5, ces

carottes fournissent un complément d'information sur la dynamique sédimentaire du secteur.

Les localisations de deux carottes analysées récemment pour le centre Saint-Laurent sont indiquées à la figure 1. Ces localisations, obtenues par relèvement à partir de points de repère sur les rives, ont une imprécision allant de plusieurs dizaines à une centaine de mètres. La carotte recueillie entre les îles Saint-Ours et Lavaltrie (site SL-9, situé sur un haut-fond avec herbier; Carignan *et al.*, 1994) révèle un lit sableux plutôt stable. La carte des changements 1945-1988 (fig. 5, à gauche) présente un patron complexe d'érosion et d'accumulation dans toute cette zone peu profonde, s'étendant à mi-chemin entre la pointe aval du haut-fond de l'île Lavaltrie et la pointe amont du haut-fond de l'île Saint-Ours. La deuxième carotte, recueillie près de la rive sud (site SL-10 localisé dans le chenal profond à l'est de l'île aux Bœufs, fig. 1) a donné un taux d'accumulation se situant entre 0,8 et 1,6 cm/a (datations au Pb^{210} et Cs^{137} , respectivement, Carignan *et al.*, 1993). Nous ne possédons malheureusement pas de données bathymétriques postérieures à 1945 pour ce dernier secteur, qui aurait néanmoins connu des taux d'accumulation variant localement de 0 à 4 cm/a, pour un total

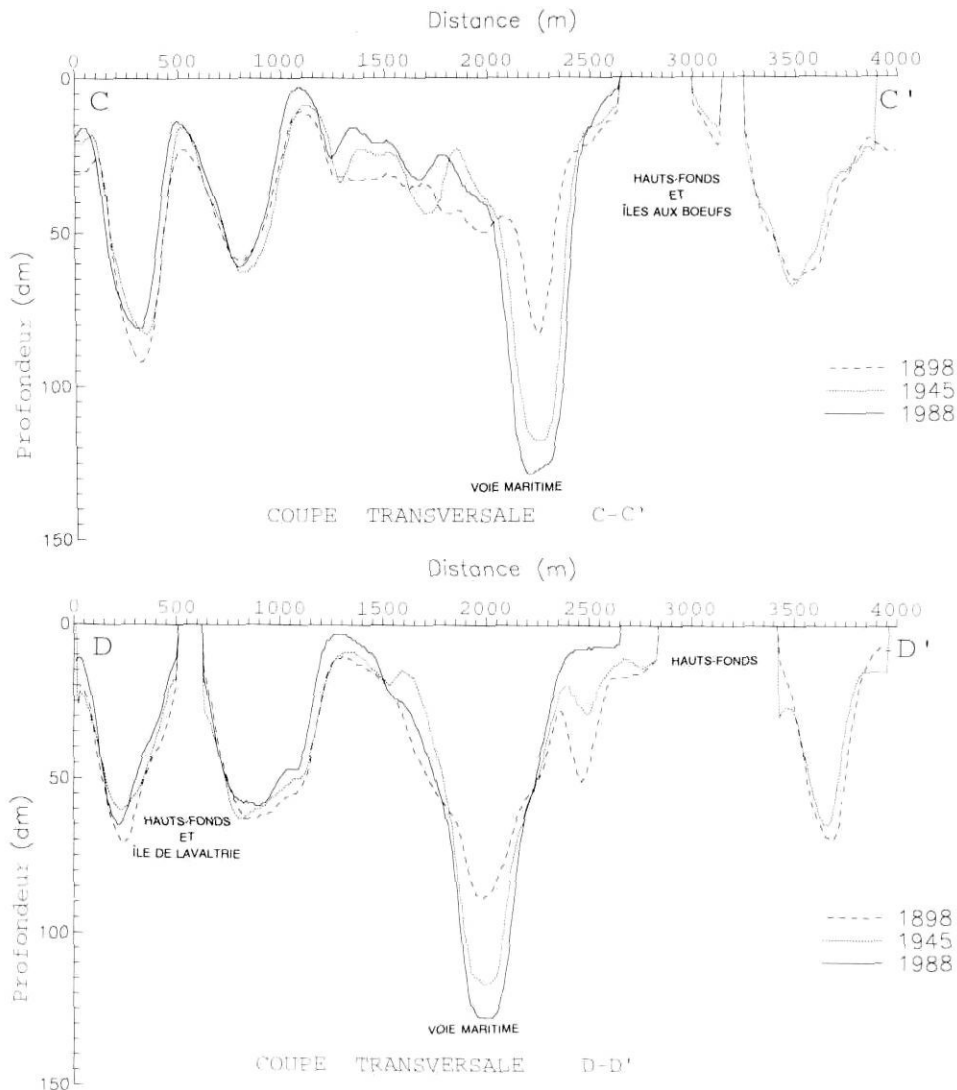


FIGURE 6. Coupes transversales (C-C', D-D') montrant l'évolution du lit du Saint-Laurent pendant les périodes de 1898-1945-1988. Données extraites des modèles bathymétriques élaborés pour chacune des périodes. Les tracés des profils A à D est visible sur la figure 4 (à gauche). Exagération verticale : 150X.

River cross-sections showing the evolution of the channel bed during the period 1898-1945-1988. Data extracted from the bathymetric models prepared for each of these years. Cross-sectional locations are shown on Figure 4 (left). Vertical exaggeration: 150X.

de 0 à 2 m pendant la période de 1898-1945 (fig. 4, à droite).

Une troisième carotte a été recueillie au cours des années 1970 dans le secteur général séparant les îles de Contrecœur de la voie maritime (carotte E9, Sérodes et Labonté, 1978; sa localisation, très imprécise, n'apparaît pas sur la fig. 1). Cette carotte révèle un taux d'accumulation de 0,8 cm/a au cours des dernières décennies (datation au Cs¹³⁷). Ce taux correspond à une accumulation de 0,3 m pour la période 1945-1988, une valeur qui, selon notre analyse, pourrait être égalée ou dépassée presque partout dans ce secteur général (fig. 5, carte de gauche). Notons finalement qu'il pourrait être utile, à l'avenir, de localiser plus précisément tout site de carottage (par exemple, au moyen de la navigation GPS), afin de raffiner les comparaisons avec d'autres études.

DISCUSSION

En l'absence de données historiques détaillées sur la distribution des vitesses d'écoulement et du transport sédimentaire dans le tronçon étudié, on ne peut que spéculer sur la

nature des processus hydrosédimentaires responsables de l'évolution du lit, loin du chenal maritime. Les profils A à D (fig. 6) indiquent que l'expansion du chenal maritime dragué semble s'être faite au détriment des autres chenaux, qui ont eu tendance à se colmater. La concentration progressive de l'écoulement au cours du XX^e siècle dans un chenal maritime toujours plus large et profond aura, à coup sûr, réduit l'écoulement (débit et vitesse à la fois) dans les chenaux périphériques. La réduction de l'intensité de la turbulence qui accompagne l'affaiblissement de l'écoulement a pu, à son tour, réduire la capacité de transport des sables en suspension dans ces secteurs, entraînant la sédimentation graduelle d'une partie de la charge de sable y transitant en provenance de l'amont. L'accroissement substantiel du taux de sédimentation depuis 1945 (qui, dans le large chenal central, à l'ouest de l'île Saint-Ours, a quadruplé, passant de 0,4 à 1,5 cm/a) pourrait ainsi refléter une amplification de ce déséquilibre dans le transport en suspension, à la suite de l'élargissement le plus récent du chenal maritime, dont la largeur est passée de 140 m à 245 m entre 1950 et 1970. Des observations sur le terrain pourraient aider à caractériser ce déséquilibre. Par exemple, des techniques de mesure présentement en voie

d'élaboration (Lapointe, 1993) pourraient permettre de cartographier l'intensité du déséquilibre dans le transport des sables en suspension sur les divers secteurs du lit fluvial, au moyen d'observations effectuées en période de crue.

Il est possible aussi que la sédimentation particulièrement intense observée dans le chenal central à l'ouest de l'île Saint-Ours (secteur encadré en blanc sur la fig. 4, à gauche) ait été accrue par le rejet de déblais de dragage à l'entrée d'un chenal secondaire qui, dans le régime naturel du tronçon, dérivait vers ce chenal central une partie du flot de la voie maritime. Ce court chenal secondaire, maintenant partiellement coupé de la voie maritime par une zone de déblais, est repérable sur la carte bathymétrique de 1898 (fig. 4, à gauche; à l'origine, il était situé au centre du segment C.-C').

D'autres mécanismes ont pu contribuer à la sédimentation observée dans le chenal central; celle-ci pourrait refléter un accroissement possible de l'apport de sables en suspension à la moitié gauche du lit fluvial, par suite notamment d'une accélération, depuis le XIX^e siècle, de l'érosion des sols dans le bassin de la rivière l'Assomption. L'embouchure de cette rivière est située sur la rive gauche près de Repentigny, à environ 30 km en amont (fig. 1). Une étude comparant l'évolution du lit fluvial en amont et en aval de cette embouchure, à partir des archives hydrographiques, pourrait permettre de vérifier cette dernière hypothèse.

SÉDIMENTATION ET CONTAMINATION DU FOND

Allan (1986) a dressé un portrait général du transport des sédiments fins contaminés dans le corridor industriel Grands-Lacs-Saint-Laurent, entre Détroit et Québec. Situé immédiatement en aval de la métropole québécoise, le tronçon de Contrecoeur reçoit une charge considérable de polluants de sources québécoises (métaux lourds, substances organochlorées de synthèse, etc.) provenant à la fois de rejets industriels (grandes industries de Pointe-aux-Trembles, Varennes, Contrecoeur; Société pour vaincre la pollution, 1984 et fig. 1), de rejets municipaux (par exemple l'émissaire des eaux usées de la CUM près de Pointe-aux-Trembles) et de rejets agricoles (par exemple de la rivière l'Assomption qui rejoint le fleuve à Repentigny). Une certaine contamination des sédiments du fond par les BPC (Sérodés et Labonté, 1978) a été observée dans les secteurs boueux autour des îles de Contrecoeur.

La cartographie des patrons contemporains de sédimentation, présentée ici, peut intéresser les gestionnaires de cette contamination du milieu hydrique. Ainsi, en l'absence de données précises sur la qualité des sédiments dans le chenal central à l'ouest de l'île Saint-Ours on peut prévoir que, compte tenu de la sédimentation rapide (15 cm/décennie) y régnant, la contamination du fond doit refléter la pollution des sédiments qui s'y sont déposés au cours des dernières décennies. La contamination du lit dans ce secteur pourrait donc régresser assez rapidement s'il y avait réduction générale des rejets polluants en amont.

Des techniques géomatiques ont été utilisées pour estimer le volume total de sédiments fins, susceptibles d'être contaminés, déposé sur le lit des lacs Saint-Louis et Saint-Pierre dans le Saint-Laurent (Rukavina et Delorme, 1992). Une

variation de cette approche peut être suggérée ici. Des données hydrographiques d'archives sont disponibles pour plusieurs tronçons du fleuve, permettant comme ici d'y cartographier la stabilité du lit. De telles analyses, accompagnées d'autres portant sur la nature des sédiments du lit, pourraient jeter un éclairage unique sur l'évolution de la masse totale de contaminants dans un secteur d'intérêt. En effet, une carte de changements bathymétriques combinée à une banque de données spatiales sur la distribution des sédiments fins et de leur niveau de contamination (obtenue par carottage) permettrait d'estimer non seulement la masse totale d'un contaminant présent dans un secteur, mais aussi son rythme de changement dans le temps, un paramètre d'un intérêt environnemental évident.

CONCLUSION

L'étude des données historiques sur l'hydrographie du Saint-Laurent dans le secteur de Contrecoeur révèle l'ampleur des changements bathymétriques survenus depuis le début des travaux d'agrandissement de la voie maritime vers le milieu du XIX^e siècle. Les différentes phases d'agrandissement du chenal maritime ainsi que l'évolution des accumulations principales de déblais de dragage en marge du chenal ressortent clairement de cette analyse.

Néanmoins, l'intérêt principal de notre étude réside dans l'éclairage inédit qu'il donne sur la dynamique du lit fluvial loin de la voie maritime. Le lit dans l'ensemble paraît se colmater à un rythme sensible, et croissant, avec des accumulations allant d'un demi à un mètre de sédiments nouveaux sur de grands secteurs pour la période 1898-1988. Cette instabilité du lit reflète vraisemblablement, en partie du moins, la perturbation de l'équilibre hydro-sédimentologique du tronçon causé par l'agrandissement répété du chenal principal.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Service hydrographique du Canada (ministère des Pêches et Océans, Mont-Joli, Québec) pour l'accès aux archives hydrographiques utilisées dans cette étude. L'appui financier du Centre Saint-Laurent (K. Lum, Montréal, Québec) pour les travaux d'analyse géomatique a été très apprécié. Les suggestions des lecteurs, M.M. Marcel Frenette et Marc Pelletier ont été fort utiles.

RÉFÉRENCES

- Allan, R.J., 1986. The limnological units of the Lower Great Lakes St. Lawrence River Corridor and their role in the source and aquatic fate of toxic contaminants. *Water Pollution Research Journal of Canada*, 21 : 16-186
- Benoit, J., Bergeron, R., Bourgeois, J.C., Desjardins, S. et Picard, J., 1987. Les habitats et la faune de la région du lac Saint-Pierre : synthèse des connaissances. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche.
- Carignan, R., Lorrain, S. et Lum, K., 1994. Sediment dynamics in the fluvial lakes of the St. Lawrence River : Accumulation rates and residence times of mobile sediments. *Geochem. Cosmochem. Acta*. Sous presse.
- El-Sabh, M.I., Bourget, E., Bewers, M.J. et Dionne, J.-C., 1979. Recueil des communications présentées au Symposium sur l'Océanographie de l'estuaire du St-Laurent. Numéro spécial, *Le Naturaliste canadien*, 106(1).
- El-Sabh, M.I. et Silverberg, N., édit., 1990. *Oceanography of a large-scale estuarine system : The St. Lawrence*. Coastal and Estuarine studies, 39.

- Frenette, M., Verrette, J.L. et Sérodes, J.-B., 1974. Rapport général : aspects physiques et sédimentologiques du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Montmagny. Tomes I, II et III. Environnement Canada.
- Frenette, M., Barbeau, C. et Verrette, J.-L., 1989. Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent. Hydrotech Inc.
- Lapointe, M.F., 1993. Monitoring alluvial sand suspension by eddy correlation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18 : 157-175.
- Lehoux, D., Bourget, A., Dupuis, P. et Rosa, J., 1985. La sauvagine dans le système du Saint Laurent. Service canadien de la Faune, Environnement Canada.
- MacPherson, J.B., 1968. The physiographic evolution of the Montreal Archipelago. *Canadian Geographer*, 12(4) : 254-265.
- Rukavina, N.A. et Delorme, R.J., 1992. GIS estimate of contaminated sediment volume in Lac Saint-Louis and Lac Saint-Pierre, St. Lawrence River. National Water Research Institute, Contribution N° 92-64. Environnement Canada.
- Sérodes, J.-B. et Labonté, D., 1978. Étude sur le Fleuve Saint-Laurent, Qualité des sédiments du fond du Fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny. Environnement Canada-Comité d'étude sur le Fleuve Saint-Laurent. Rapport technique n° 15.
- Société pour Vaincre la Pollution, 1984. Carte du Fleuve Saint-Laurent intoxiqué. Montréal.