



MAI/JUIN 1976
No 313
62^e année

INGÉNIEUR

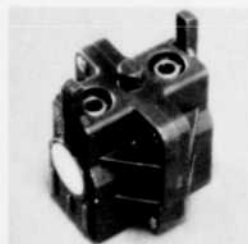
Le Saint-LAURENT

2



Affranchissement en numéraire au tarif de la troisième classe Permis No H-23
Port de retour garanti : C.P. 6079, Succ. A, Montréal, Québec, H3C 3A7

M. R. Antonin Lefebvre, Ing., L. 19
11, rue Massenet,
Beauport, Qué.



Le nouveau module de pression équilibrée, scellé en usine, vous assure du meilleur service possible.



Le tout nouveau module en céramique fonctionne bien, longtemps.

Craneflo

La soupape de Crane, équilibrée par la pression d'eau, est d'installation et d'entretien faciles tout en étant d'un prix des plus compétitifs

Si vous songez à construire ou à rénover, exigez la nouvelle soupape Crane. Elle est un peu plus chère à l'achat que le système conventionnel à deux vannes toutefois, le rendement qu'elle vous assure vaut vraiment son pesant d'or.

La soupape Craneflo a durement été mise à l'épreuve pour vous offrir un fonctionnement sûr et de longue durée.

Elle s'ajuste en un tour de main et on peut même la pré régler à la température désirée sans avoir à effectuer divers ajustements. Question d'entretien, un seul outil est nécessaire: un tournevis cruciforme (type Phillips).

La soupape Craneflo: le choix tout indiqué pour les établissements institutionnels, commerciaux ou résidentiels.

Pour obtenir tous les renseignements concernant le fonctionnement, les méthodes d'installation, le coût, veuillez communiquer avec le bureau de vente Crane le plus rapproché. Ou encore, écrivez à:

CRANE

Crane Canada Limitée,
5800 Côte-de-Liesse,
Montréal, P.Q. H4T 1B4



MAI/JUIN 1976

No 313

62^e année

L'INGÉNIEUR

ADMINISTRATION ET RÉDACTION

a/s École Polytechnique
Case postale 6079 — Succursale « A »
Montréal, Québec, H3C 3A7
Tél. : (514) 344-4764

COMITÉ ADMINISTRATIF

Réal LAUZON, ing.
président
Jacques DE BROUX, ing.
Roger FYEN, ing.
Roger LESSARD, ing.
André A. LOISELLE, ing.
Michel ROBERT, ing.
Michèle THIBODEAU-DEGUIRE, ing.

SECRÉTAIRE ADMINISTRATIVE

Yolande GINGRAS

RÉDACTRICE

Madeleine G. LAMBERT

COMITÉ CONSULTATIF DE RÉDACTION

André BAZERGUI, ing.
directeur
Thomas AQUIN, ing.
René AUDY, ing.
Bernard BELAND, ing.
Marcel FRENETTE, ing.
J. Guibert LORTIE, ing.
André MAISONNEUVE, ing.
Robert MORISSETTE, ing.
Michel PARENT, ing.
Thomas J. PAVLASEK, ing.
Robert G. TESSIER, ing.
Charles VILLEMAIRE, ing.

PUBLICITÉ

JEAN SEGUIN & ASSOCIES INC.

Courtiers en publicité

601, Côte Vertu, St-Laurent, Québec H4L 1X8
Téléphone : (514) 748-6561

ÉDITEURS

Association des Diplômés de Polytechnique
En collaboration avec l'École Polytechnique de
Montréal, la Faculté des Sciences et de Génie de
l'Université Laval et la Faculté des Sciences appli-
quées de l'Université de Sherbrooke. Publication
bimestrielle. — Imprimeur : Les Presses Elite.

ABONNEMENTS :

Canada \$10 / par année
Pays étrangers \$12 / par année
Vente à l'unité \$2

DROITS D'AUTEURS : Les auteurs des articles
publiés dans L'INGÉNIEUR conservent l'entière
responsabilité des théories ou des opinions émises
par eux. Reproduction permise, avec mention de
source ; on voudra bien cependant faire tenir à la
Rédaction un exemplaire de la publication dans
laquelle paraîtront ces articles. — Engineering
Index, Biol., Chem., Sci. Abstracts, Periodex et
Radar signalent les articles publiés dans L'IN-
GÉNIEUR — ISSN 0020-1138.

Tirage certifié : membre de la
Canadian Circulation Audit Bureau



Le Saint-LAURENT 2

son environnement et ses usages

Coordonnateur
des numéros sur
le Saint-Laurent

M. Marcel Frenette, D.Sc., ing., professeur agrégé, Département de génie civil, Université Laval. Coordonnateur des études physiques, hydrodynamiques et sédimentologiques du Saint-Laurent, Centre de Recherche sur l'Eau de l'Université Laval (CENTREAU) (1972 —). Président de la Division Hydrotechnique de la Société Canadienne de Génie Civil (1975 —).

Dans la préparation des numéros de L'INGÉNIEUR sur le Saint-Laurent, M. Frenette est assisté de M. Jean-Louis Verrette, Dr-Ing., ing., également professeur agrégé, Université Laval.

ARTICLES

2 PRÉAMBULE

par Marcel Frenette, D.Sc., ing.

5 IMPACT DES TRIBUTAIRES SUR LA QUALITÉ DES EAUX DU FLEUVE

par Jean Béland, ing.

Apports des tributaires entre Montréal et Québec. Influence de leurs eaux sur le littoral du Saint-Laurent. Qualité de l'eau dans la région de Montréal.

10 LES SÉDIMENTS : LE FOND DU PROBLÈME...

par Jean B. Sérodes, D.Sc., ing.

Fait suite aux recherches réalisées par CENTREAU. Rôle joué par les sédiments dans l'autoépuration du Saint-Laurent. Qualité physico-chimique des fonds. Principales zones de déposition et d'accumulation des polluants.

17 LE SAINT-LAURENT : VOIE MARITIME COMMERCIALE

par Jacques Y. Lavigne, ing.

Historique, exploitation et particularités du Saint-Laurent et de la Voie Maritime pour le transport entre l'Atlantique et les Grands Lacs.

27 LE CHENAL MARITIME DU SAINT-LAURENT : CARACTÉRISTIQUES ET DÉVELOPPEMENT

par Charles Pellegrin, ingénieur

Données principales sur le chenal maritime entre Montréal et l'estuaire. Exemples récents illustrant les problèmes rencontrés et les solutions retenues dans le développement du chenal.

33 MODÈLE MATHÉMATIQUE RELIÉ À L'ÉTUDE DES NIVEAUX D'EAU ET DU CONTRÔLE DES CRUES DU SAINT-LAURENT

par Claude Triquet, M.Sc., ing., et
André Carpentier, M.Sc., ing.

Analyse des moyens de réduction des extrêmes de hautes et basses eaux. Estimation des coûts, des bénéfices et des impacts sur l'environnement.

RUBRIQUES

40 LE MOIS : Chroniques mensuelles

43 ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS DE POLYTECHNIQUE
Conseil d'administration 1976

44 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

Préambule

Depuis les premiers temps, le fleuve Saint-Laurent a conditionné le développement social et économique du Canada et, encore aujourd'hui, il joue un rôle direct sur le niveau et la qualité de la vie. Peut-on cependant imaginer un pays industrialisé comme le nôtre ignorer à peu près tout de son attribut principal qu'est le Saint-Laurent. Pourtant, tel était encore le cas il y a cinq ans au moment où les deux paliers de Gouvernement — Québec et Canada — ont signé une entente visant à étudier la qualité du fleuve en vue de rationaliser son utilisation.

Jusqu'alors, les études avaient surtout été orientées vers la navigation commerciale et l'harnachement des eaux. L'utilisation du fleuve à d'autres fins comme l'adduction en eau, les rejets d'égouts urbains et industriels ou l'aménagement récréatif était plus ou moins laissée à la discrétion des usagers.

À l'heure actuelle, la qualité de l'eau du Saint-Laurent est un obstacle important à l'aménagement pour des fins de loisir, de protection ou de conservation. Les aménagements prévus doivent s'ajuster aux humeurs du climat, aux processus physique et dynamique en cause, à la vocation des bassins de drainage, à l'utilisation des rives, etc... et à l'interaction de ces derniers dans l'écosystème en général, sans quoi les risques de dégâts s'en trouveront augmentés.

De l'optimisme indéfectible au pessimisme le plus sombre, le spectre des opinions relatives au développement et à la conservation du fleuve Saint-Laurent se déploie sur un large éventail entre les partisans du respect intégral de la nature (même aux dépens de l'homme) et ceux du développement à outrance. Ce sont deux impératifs en confrontation, voire en opposition — la protection et le développement — qui doivent s'harmoniser selon les besoins de l'homme et de la nature. Il revient aux scientifiques, particulièrement aux ingénieurs, aux chimistes et aux biologistes, d'assurer cette harmonie par des actions concourant à des objectifs communs.

Les organismes appelés dans l'avenir à jouer un rôle dans l'utilisation du Saint-Laurent devront accepter un développement soumis à des obligations qui tiendront compte à la fois de la protection de l'environnement et des coûts socio-économiques.

En présentant trois numéros thématiques sur le Saint-Laurent, la revue L'INGÉNIEUR vise à atteindre les objectifs suivants :

1. Faire connaître aux ingénieurs différentes facettes du Saint-Laurent portant notamment sur les plans administratif, physique, dynamique et écologique ;
2. Promouvoir l'intérêt des ingénieurs à l'assainissement du fleuve et à son développement rationnel.

Le thème général retenu pour ces numéros est :

« LE SAINT-LAURENT : SON ENVIRONNEMENT ET SES USAGES »

Le premier numéro thématique sur le Saint-Laurent traitait de la gestion de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent et s'appliquait à présenter une esquisse de son environnement physique, hydrodynamique et sédimentologique, ainsi que différents aspects du problème des glaces, question d'actualité tous les printemps.

Ce second numéro reprend l'orientation du premier numéro en soulignant les qualités physico-chimiques (eaux — sédiments) du fleuve, et aborde certains développements relatifs à la navigation et aux contrôles des crues.

Le troisième numéro traitera de plusieurs problèmes de rejets urbains et industriels le long des rives, de même que quelques aspects des études effectuées sur la diffusion des eaux usées. En outre, on s'appliquera à définir les caractéristiques principales des ressources fauniques et récréatives du fleuve.

Bien d'autres sujets auraient pu être abordés dans ces numéros thématiques sur le Saint-Laurent, mais nous croyons que les articles présentés offrent un éventail varié faisant connaître différentes dimensions du fleuve.

En jetant ainsi un regard sur plusieurs facettes du Saint-Laurent, il est à espérer que se poursuivra l'amorce d'une approche globale reliée au problème de gestion de notre fleuve. ■

Marcel FRENETTE, D.Sc., ing. *
Coordonnateur
pour
le Comité consultatif de rédaction

°

Voir notice biographique du
coordonnateur en page sommaire.



L'Université Laval au coeur du Saint-Laurent

Située de façon privilégiée à la rencontre du golfe et du fleuve, l'Université Laval s'intéresse au St-Laurent depuis près d'un demi-siècle. Deux structures regroupent des chercheurs aux travaux aussi variés qu'originaux, la première dans les eaux douces, la seconde dans les eaux salées.

CENTREAU

- Hydrologie
- Hydrodynamique
- Sédimentologie
- Chimie
- Écologie
- Traitement des eaux
- Télédétection
- Gestion des eaux

GIROQ*

- Dynamique des fronts
- Mélange vertical
- Géochimie estuarienne
- Polluants organo-métalliques
- Communautés benthiques
- Algues
- Production primaire
- Variabilité du plancton
- Écologie des pêches
- Mammifères marins

* Groupe océanographique constitué de l'Université Laval, de l'Université McGill et de l'Université de Montréal.



IMPACT DES TRIBUTAIRES SUR LA QUALITÉ DES EAUX DU FLEUVE

par Jean Béland, ing. *

Sommaire

Le présent article comprend trois parties principales. La première traite de la caractérisation des apports des tributaires entre Montréal et Québec. La seconde partie décrit l'influence des eaux de ces tributaires sur le littoral du fleuve Saint-Laurent. La troisième partie traite de la qualité de l'eau dans la région de Montréal.

1. Introduction

La qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent intéresse de plus en plus la société québécoise qui a le souci de son environnement et qui est disposée à prendre des mesures afin d'en assurer une saine gestion.

Le bassin hydrographique du Saint-Laurent est un centre important d'activités agricoles et industrielles qui compte plusieurs zones urbaines. Ces diverses activités entraînent habituellement une détérioration de la qualité du milieu. En effet, des quantités énormes de matières en suspension, de substances nutritives et de composés toxiques s'acheminent chaque année dans les eaux du Saint-Laurent, si bien qu'on peut se demander quelle est la qualité de notre fleuve.

Les gouvernements québécois et canadien, conscients de ce qui pourrait en résulter ont promu un programme d'étude de la qualité des eaux du fleuve. Ce programme vise à identifier les conflits pouvant exister entre les différents usages de l'eau et à préparer un plan d'utilisation qui permettrait de satisfaire tous les usagers tout en assurant la survie de la vie aquatique.

Les Services de protection de l'environnement du Québec ont donc entrepris, depuis 1972, une série d'études qui ont permis d'identifier à ce jour deux types

de détériorations : les détériorations locales qui n'affectent que des aires limitées et les détériorations générales que l'on rencontre sur tout le parcours du fleuve. Les causes de détérioration sont facilement identifiées quand il s'agit de pollution locale étant donné la proximité des sources ; par contre, dans le cas du deuxième type de détérioration, il est difficile d'établir les relations de cause à effet.

L'exposé qui suit résume l'essentiel des résultats obtenus jusqu'ici à partir des études physico-chimiques réalisées dans le cadre d'études sur le Saint-Laurent. Les résultats, qui ne représentent qu'une partie des connaissances acquises, permettent de caractériser les apports des tributaires, leur mélange et leur diffusion dans le fleuve ainsi que la détérioration de la qualité de l'eau dans la région immédiate de Montréal.

2. Caractérisation des apports des tributaires

La détermination de la qualité des affluents du fleuve Saint-Laurent constitue un des éléments importants des travaux. Les vingt-cinq tributaires situés entre Varennes et Montmagny ont été échantillonnés mensuellement en juin, juillet, août, septembre et novembre, au cours de l'année 1973. Un hélicoptère fut utilisé afin de réduire au minimum les périodes de relevés et conséquemment minimiser les influences reliées aux variations climatiques. De cette façon, l'échantillonnage de l'ensemble de ces tributaires pouvait être complété dans une période de quatre (4) heures au cours d'une même journée.

Avec les résultats obtenus, l'ensemble des tributaires et le Saint-Laurent lui-même ont été rangés par ordre croissant de qualité physico-chimique ainsi que par ordre décroissant des charges transitées. À cet effet, les paramètres suivants ont été retenus : l'azote total kjeldhal dissous, le phosphore total dissous et les bactéries coliformes.

La procédure de rangement adoptée est la suivante :

1. On attribue des valeurs numériques de 1 à 26 aux tributaires en commençant par ceux qui ont les

L'auteur :

Ingénieur chimiste à l'emploi du gouvernement du Québec depuis 1972 aux Services de protection de l'environnement du Québec (S.P.E.Q.). Il est coordonnateur des études du Saint-Laurent pour les S.P.E.Q. depuis avril 1975.

concentrations d'azote, de phosphore et les comptes de bactéries les plus faibles ;

- On effectue la sommation des valeurs numériques correspondant à chacun des tributaires.
- On range les tributaires par ordre décroissant du résultat de la sommation.

Cette procédure a conduit au rangement figurant au tableau no 1. Les rivières les plus polluées apparaissent en tête de liste. Le fleuve Saint-Laurent est inclus dans cette classification en ne considérant que les données obtenues pour la voie maritime.

TABLEAU 1

RANGEMENT DES TRIBUTAIRES SELON UN ORDRE CROISSANT DE LA QUALITÉ DES EAUX

Nom du tributaire	Rive	Phosphore total dissous mg/1	Azote total kjeldhal dissous mg/1	Bactéries coliformes N/100cc.
1) Bayonne	Nord	.61	1.09	290,000.
2) Yamachiche	Nord	.42	1.65	50,000.
3) Saint-Charles	Nord	.39	.67	112,000.
4) Nicolet	Sud	.40	.40	18,000.
5) Portneuf	Nord	.20	.43	81,000.
6) L'Assomption	Sud	.33	.40	18,000.
7) Yamaska	Sud	.54	.51	3,500.
8) Champlain	Nord	.19	.49	9,000.
9) Petite du Chêne	Sud	.12	.49	6,000.
10) Duchêne	Sud	.56	.13	3,000.
11) Richelieu	Sud	.15	.30	15,000.
12) Chaudière	Sud	.13	.37	4,000.
13) Gentilly	Sud	.21	.49	3,000.
14) Etchemin	Sud	.13	.47	4,500.
15) Maskinongé	Nord	.12	.32	9,500.
16) Saint-François	Sud	.11	.30	5,500.
17) Du Loup	Nord	.09	.30	16,000.
18) Du Sud	Sud	.21	.27	4,000.
19) Bécancour	Sud	.09	.33	1,500.
20) Saint-Maurice	Nord	.05	.27	4,000.
21) Batiscan	Nord	.09	.29	3,000.
22) Fleuve Saint-Laurent		.10	.24	4,000.
23) Sainte-Anne	Nord	.09	.25	1,000.
24) Sainte-Anne-du-Nord	Nord	.10	.17	1,700.
25) Jacques-Cartier	Nord	.08	.24	3,000.
26) Montmorency	Nord	.08	.20	1,200.

Le tableau 2 montre un rangement des tributaires selon un ordre décroissant des charges transitées. Les charges sont obtenues en faisant la sommation des moyennes mensuelles. Ces dernières étant elles-mêmes obtenues en multipliant les concentrations mensuelles moyennes des paramètres énumérés au tableau no 1 par le débit mensuel moyen. Puis le rangement est effectué selon une méthode similaire à celle décrite plus haut.

Les procédures de rangement ne tiennent pas compte de plusieurs paramètres importants. Toutefois, considérant que les apports en composés azotés et phos-

TABLEAU 2

RANGEMENT DES TRIBUTAIRES SELON UN ORDRE DÉCROISSANT DES CHARGES MOYENNES TRANSITÉES

Rang	Nom du tributaire	Rive
1.	Fleuve Saint-Laurent	Incluant les rivières des Prairies et des Mille-Îles
2.	Saint-Maurice	Nord
3.	Saint-François	Sud
4.	Richelieu	Sud
5.	Chaudière	Sud
6.	Batiscan	Nord
7.	Bécancour	Sud
8.	Jacques-Cartier	Nord
9.	Sainte-Anne	Nord
10.	Nicolet	Sud
11.	Montmorency	Nord
12.	Yamaska	Sud
13.	Etchemin	Sud
14.	Sainte-Anne-du-Nord	Nord
15.	L'Assomption	Nord
16.	Du Loup	Nord
17.	Maskinongé	Nord
18.	Saint-Charles	Nord
19.	Portneuf	Nord

N.B. Il nous manquait les débits de 7 tributaires pour compléter le tableau.

phorés de même que le taux de bactéries coliformes sont principalement reliés aux déversements d'eaux usées et aux lessivages des terres, le rangement obtenu présente un intérêt certain pour ceux impliqués dans la gestion des eaux usées urbaines et agricoles.

Il importe de mentionner que près des deux tiers de la superficie du territoire à l'étude sont boisés. Le reste est voué principalement à l'agriculture et en faible

TABLEAU 3

**BACTÉRIES COLIFORMES
Fleuve Saint-Laurent
Région de Montréal**

Régions	Bactéries coliformes n/100 cc.
1. Repentigny	48,000.
2. Boucherville	30,000.
3. Montréal	27,000.
4. Pointe-aux-Trembles	23,000.
5. Varennes	18,000.
6. Longueuil	12,000.
7. Île Sainte-Thérèse	7,450.
8. Voie Maritime	1,140.
9. Île de Varennes	860.

partie à l'urbanisation. Soixante-deux pour cent de la population agricole du Québec est établie à l'intérieur de ce territoire. De ce pourcentage, près des trois quarts sont établis sur le versant sud du Saint-Laurent.

Il est frappant de constater que les bassins de drainage à caractère agricole incluant l'élevage sont en tête de la liste du rangement et que l'on retrouve les bassins à caractère forestier au bas de la liste. Les premiers bassins sont en général situés dans des régions sédimentaires couvertes d'une couche importante de dépôts meubles faciles à éroder et les concentrations trouvées dans ces tributaires sont de beaucoup supérieures à celles retrouvées dans la voie maritime du fleuve. Ceci laisse entrevoir l'impact néfaste des eaux de ces rivières à leur entrée dans le fleuve.

3. Assimilation des eaux des tributaires aux eaux du fleuve Saint-Laurent

Tel qu'il a été démontré, la qualité des eaux des tributaires est en général plus détériorée que celle des eaux de la voie maritime du Saint-Laurent. L'étude de l'assimilation des apports dus aux tributaires s'est donc avérée essentielle afin de déterminer les aires influencées.

L'étude de l'assimilation a été développée en considérant un paramètre indicateur, soit la conductivité des eaux, à cause des grandes différences entre les eaux des tributaires et celles du fleuve Saint-Laurent.

À cette fin, quelque 2,265 prélèvements effectués sur 160 sections, réparties entre Varennes et Québec, ont été réalisés en 1973. Tous les échantillons furent prélevés à une profondeur approximative d'un pied. De façon à assurer la représentativité des résultats, le nombre d'échantillons à prélever fut déterminé proportionnellement à la largeur de chacune des sections. Le nombre de prélèvements varie donc de 4 pour la section transversale la moins large à 86 pour la section la plus large.

Compte tenu du grand nombre d'échantillons à prélever sur un axe transversal à l'écoulement des eaux du fleuve, l'échantillonnage fut donc pratiqué à partir d'un bateau en utilisant la procédure suivante : d'une rive à l'autre, la cueillette de l'eau s'est effectuée à intervalles de temps réguliers, approximativement à toutes les trente secondes, le bateau se déplaçant à vitesse constante. L'orientation vers la rive opposée était assurée en se guidant sur certains points de référence afin de tenir compte de la vitesse du courant. Par la suite, les points d'échantillonnage furent reportés sur une carte proportionnellement au nombre d'échantillons prélevés entre deux points de référence.

Les études sur la diffusion des affluents dans le fleuve montrent que :

1. La surface des eaux du fleuve n'est pas homogène et l'on y retrouve d'immenses couloirs de type d'eau différent.
2. Les eaux des tributaires ont nettement tendance à longer les rives du fleuve et ne se mélangent que très lentement au débit du Saint-Laurent.

3. Les eaux du fleuve, en provenance du lac Saint-François, (conductivité 300 umhos/cm) ne sont que très rarement en contact avec les rives et ce principalement sur la rive nord. Les résultats ont démontré que l'assimilation des eaux des tributaires au fleuve est progressive et lente dans la région Varennes-Portneuf où les courants sont faibles à proximité des rives. Par contre, à partir de Portneuf jusqu'à la hauteur de Québec, les eaux s'assimilent plus rapidement sous l'action combinée des courants et des marées. Sous le pont de Québec, la conductivité de l'eau est homogène d'une rive à l'autre. Elle se différencie de nouveau à la confluence de la rivière Saint-Charles dont l'apport influence surtout le bras nord de l'île d'Orléans.

4. La qualité de l'eau dans la région de Montréal

À la lumière des résultats, on a constaté qu'il est possible de suivre l'évolution des apports chimiques et bactériologiques des tributaires dans le fleuve Saint-Laurent. Cette même méthode a donc été appliquée pour la région comprise entre le port de Montréal et la ville de Sorel, afin de préciser l'assimilation des eaux usées de la région de Montréal déversées dans le fleuve Saint-Laurent. L'essentiel des résultats obtenus au cours de cette étude se résume ainsi :

- les eaux coulant à proximité de la rive nord du fleuve, du port de Montréal jusqu'à l'extrémité « est » de l'île, constituent un mélange incomplet des eaux du fleuve et de l'Outaouais ; sur la rive sud, les eaux proviennent en grande partie du lac Saint-François. Ces deux types d'eau, qui sont de qualité différente, sont affectés par les apports des municipalités de la région de Montréal et ce, principalement dans des corridors relativement étroits situés le long des rives ;
- l'Outaouais alimente les rivières des Prairies et des Mille-Îles en leur conférant ses qualités propres qui sont accentuées par le déversement des eaux usées municipales. À partir de Repentigny, un mélange des eaux des rivières des Prairies, des Mille-Îles et l'Assomption s'amorce ; il en résulte que les eaux baignant la rive nord du fleuve, Repentigny à Berthier, proviennent d'un mélange partiel des eaux de ces trois rivières.

À l'examen des résultats, il apparaît que les eaux usées, déversées autour de l'île de Montréal, ont tendance à suivre les berges de l'île et à se diffuser lentement au contact des eaux de la rivière des Prairies, des Mille-Îles et du fleuve Saint-Laurent à partir de la pointe « est » de l'île de Montréal.

5. Conclusions

En résumé, les résultats indiquent que les tributaires représentent un apport important au niveau des matières nutritives, des bactéries coliformes et des matières en suspension. Les concentrations maximales de ces composés proviennent des bassins à vocation agri-

cole, lesquels jouent un rôle important sur l'état de santé du fleuve Saint-Laurent.

Les eaux du lac Saint-François, alimentées par les Grands-Lacs, sont homogènes et de qualité physico-chimique relativement bonne; par la suite, ces eaux sont altérées graduellement par les déversements d'eaux usées industrielles et municipales mais principalement par l'ensemble des tributaires qui s'y déversent.

Puisque les eaux des tributaires ont tendance à longer les rives et ne se mélangent que très lentement aux eaux du fleuve, les problèmes locaux, rencontrés sur les berges du Saint-Laurent, proviennent donc dans la majorité des cas de la qualité détériorée des eaux des affluents ou des déversements localisés à proximité des régions considérées.

L'impact des déversements d'eaux usées municipales et industrielles détériorent une grande partie des berges de l'île de Montréal et des rives nord et sud du fleuve. Ce phénomène est accentué dans les régions baignées par les rivières Outaouais, des Prairies, des Mille-Îles et l'Assomption dont les eaux contiennent au départ des concentrations importantes de nutriments, d'éléments en suspension et de bactéries. À ces endroits les concentrations en bactéries coliformes ne permettent pas la baignade et les concentrations en substances nutritives en font une eau eutrophe.

Bref, les bassins agricoles et les déversements municipaux de Montréal principalement ont un effet significatif sur la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent.

6. Poursuite des travaux

La qualité et la quantité des apports des tributaires, les aires de propagation de ces masses d'eau dans le fleuve Saint-Laurent ont été superficiellement caractérisées et certaines aires de détérioration du Saint-Laurent ont été identifiées.

La poursuite des travaux comprend des activités qui ont spécifiquement pour but de préciser de façon plus exacte les aires détériorées, de caractériser leur degré de dégradation, d'en déterminer les causes et de proposer des solutions. Un programme exhaustif a été préparé et se réalise actuellement. ■



QUÉFORMAT LTÉE

981 PIERRE-DUPUY
LONGUEUIL
QUEBEC J4K 1A1
674-4901

FORAGES
ÉTUDES GÉOTECHNIQUES
CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

FRANC PARLER

Sur la sécurité au travail pour les projets de construction

par
**Frank
Fieseler**

Directeur du
service de la sûreté
et de la sécurité de
Canadian Bechtel Limited



L'aspect le plus important en matière de sécurité est de saisir qu'il ne s'agit pas uniquement d'un simple programme planifié. Tant et aussi longtemps que le concept de la sécurité au travail ne s'implante pas dans la pensée et dans les attitudes de tous les employés, un programme de sécurité ne demeure qu'une autre déclaration de la part de l'administration.

Il est cependant évident que, pour atteindre ce but, il doit *exister* une politique et un programme. Chez Bechtel Canada, nos politiques sont clairement énoncées dans notre "Manuel des règles de sécurité". Ce document signale les objectifs administratifs, les grandes lignes de la responsabilité en matière de sécurité, les modes de communication des règlements aux individus concernés. On y trouve en outre des renseignements sur la tenue des dossiers, la rédaction de rapports et les enquêtes sur les accidents, les politiques et les responsabilités en matière de premiers soins, l'initiation à la sécurité et des pratiques spécifiques de sécurité. Nos règles de sécurité sont délibérément plus rigoureuses que celles établies par les différents paliers gouvernementaux. De plus nos règlements sont uniformes pour toutes les provinces.

Voilà pour nos politiques: que penser de l'attitude de toute première importance, définie au premier paragraphe. Nous avons découvert que la grande majorité des employés comprennent que nous avons élaboré ces règlements pour leur bien-être personnel et celui de leurs collègues. Malheureusement il y aura toujours des exceptions, et pour ceux-là la sanction est sévère. Tout employé qui déroge volontairement aux règles de sécurité de la Bechtel Canada est remercié de ses services.

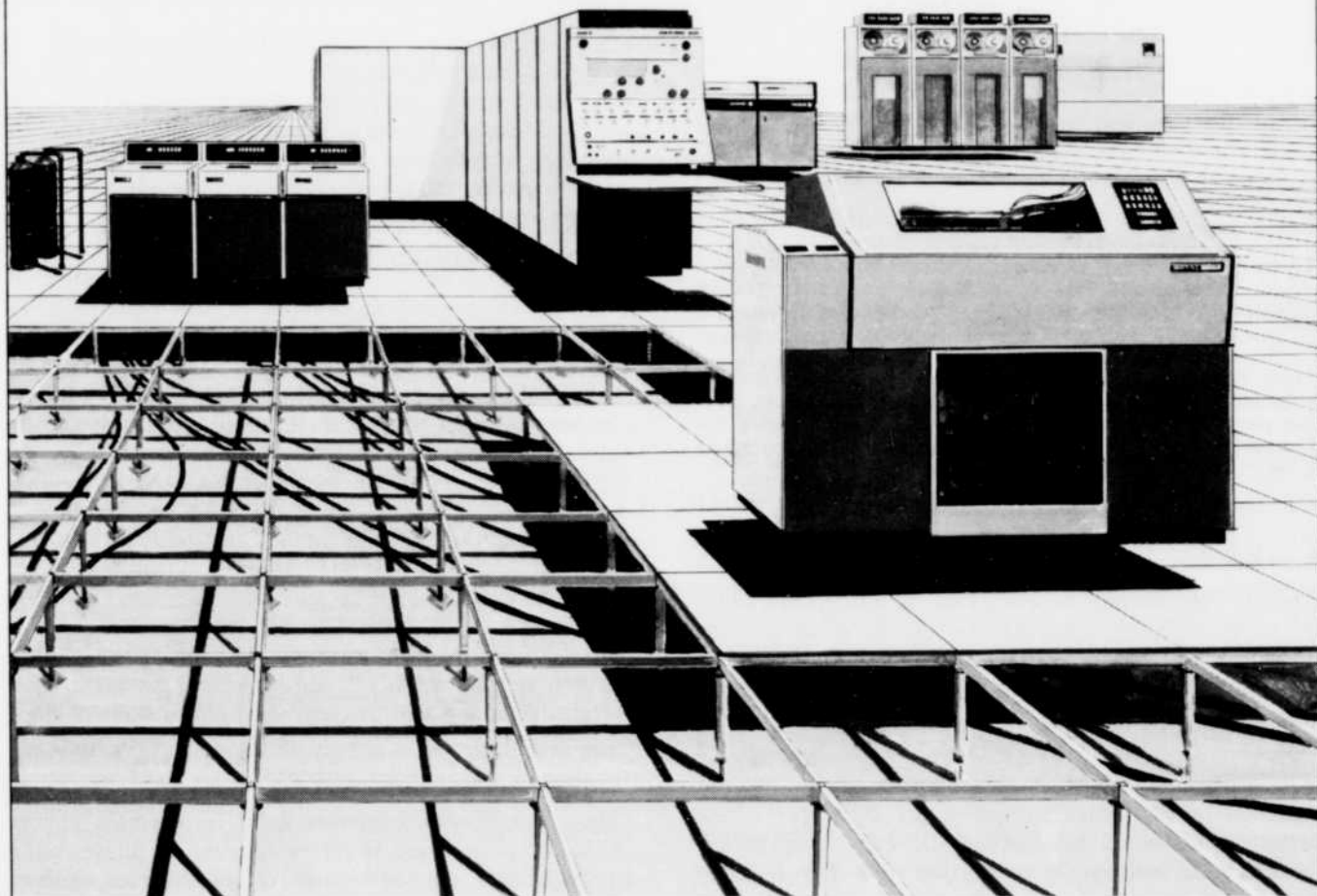
Bref, un programme de sécurité devient une réussite principalement grâce au simple bon sens; il doit cependant être appuyé par des mesures fermes.

BECHTEL CANADA

Bâtisseurs au service de l'industrie

Voyez Control Data

avant l'installation d'un
nouvel ordinateur



Après tout, qui d'autre connaît mieux la conception et l'installation d'aménagements d'ordinateurs qu'une compagnie d'informatique? Notre expérience dans l'installation de nos propres aménagements d'ordinateurs, de ceux de nos clients et des usagers d'autres marques nous apporte des connaissances techniques qui vous seront utiles.

Si vous voulez un service complet à source unique ou des renseignements sur un problème particulier (climatisation sous plancher, exigences électriques, protection contre l'incendie ou alimentation continue sans interruption), Control Data peut vous fournir la solution. Nous pouvons fournir un service global ou seulement les rensei-

gnements particuliers dont vous avez besoin avec toute marque d'ordinateurs.

Le service de conception et d'installation d'aménagements de Control Data ne constitue qu'une partie des services globaux de Control Data Canada, Ltée. Ne vaut-il pas mieux s'adresser à une compagnie d'informatique?

Pour plus de détails, adressez-vous au bureau local de Control Data Canada, Ltée.



2020 rue University, Montréal, Québec (514) 845-4201

LES SÉDIMENTS:

LE FOND DU PROBLÈME...

par Jean B. Sérodes, D.Sc., ing. *

Sommaire

Le présent article fait suite aux recherches effectuées au cours des dernières années dans le cadre d'un programme d'études réalisées par le Centre de Recherche sur l'Eau (CENTREAU) de l'Université Laval.

Après avoir exposé brièvement le rôle primordial joué par les sédiments dans l'autoépuration du fleuve Saint-Laurent, l'auteur passe en revue la qualité physico-chimique des fonds des diverses régions en mettant l'accent sur les principales zones de déposition et d'accumulation des polluants.

Introduction

Comme l'ont montré les études sur la qualité des eaux, à part le voisinage immédiat des égouts et de certains petits affluents, la masse principale du Saint-Laurent présente une qualité physico-chimique sinon bonne du moins meilleure qu'on pourrait s'y attendre à prime abord.

Ce paradoxe amène à se demander ce que devient toute la masse polluante qui y est déversée. Il est certes probable qu'une partie doit être « exportée » dans le golfe mais quelle proportion reste dans le tronçon fluvial? Pour répondre à cette question, il faut aller plus au fond des choses et se préoccuper non seulement du contenu mais aussi du contenant, en l'occurrence les matériaux qui constituent l'enveloppe de cette masse d'eau en mouvement.

La connaissance du Saint-Laurent a progressé radicalement depuis quelques années à la suite des études réalisées dans le cadre d'une entente Canada-Québec.

Mais même aujourd'hui le fleuve est lointain d'avoir été exploré de fond en comble puisque, entre autres, l'importance des sédiments et surtout le rôle qu'ils jouent restent encore imprécis.

*
L'auteur :

Ingénieur de projets au service du ministère de l'Environnement du Canada pour la région du Québec et membre du comité physico-chimique sur les études du Saint-Laurent.

Le rôle des sédiments dans l'autoépuration des milieux aquatiques

Pour de nombreuses substances entrant dans l'écosystème, les sédiments interviennent soit dans leurs processus d'évolution soit même dans ceux de l'utilisation de ces substances ou de leurs produits de dégradation. Ces mécanismes confèrent aux sédiments un rôle de substratum biologique où s'amorcent plusieurs étapes de transfert entre la phase inerte et les espèces biologiques. Ces phénomènes sont mal connus et ce sont surtout les relations entre la qualité des fonds et la diversité benthique qui ont été abordées jusqu'à présent. L'activité microbiologique au niveau des sédiments est responsable de la minéralisation de la matière organique par laquelle sont restitués aux processus photosynthétiques les éléments nutritifs de base mais aussi certains polluants qui peuvent ainsi entrer dans la chaîne alimentaire.

D'une façon générale le milieu aquatique est le siège de nombreux échanges entre les diverses phases qui le composent, soit la phase aqueuse, la phase solide en suspension ou sédimentée et les diverses espèces biologiques. Cependant, il est un échange qui, dans le cas d'un milieu affecté par les activités humaines, prend une importance capitale : celui qui entraîne préférentiellement de nombreux polluants vers la phase solide.

En effet, de par leur composition minérale ou leur teneur en matière organique, humique surtout, les particules solides ont le pouvoir d'absorber ou de complexer plusieurs substances dissoutes, ioniques ou non. Par la suite, selon les conditions hydrodynamiques du milieu, ces particules ont la possibilité de sédimenter et d'entraîner ainsi sur les fonds la majeure partie des polluants. C'est pourquoi on retrouve dans les sédiments de fond des teneurs en polluants qui sont plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois supérieures à celles qu'on retrouve dans l'eau. Ce pouvoir épurateur de la phase solide est fortement conditionné par la taille des particules, ce qui entraîne l'un des grands principes de la physico-chimie des sédiments : à savoir,

que plus un sédiment de fond ou en suspension est fin, plus sa capacité d'absorber les polluants est grande donc plus sa qualité est mauvaise. Ainsi un fond vaseux est généralement plus pollué qu'un fond sablonneux.

À cause de cette propriété d'accumuler certaines substances mal biodégradables, les sédiments de fond sont souvent un reflet de l'histoire des dernières décennies caractérisées par l'industrialisation poussée. C'est ainsi que sur des échantillonnages en profondeur (carottage) les couches supérieures présentent des teneurs très au-dessus du bruit de fond naturel pour plusieurs métaux rejetés par l'homme. C'est le cas du plomb de l'essence automobile ou du césium 137 radioactif produit par les explosions nucléaires aériennes.

D'autres substances strictement synthétiques comme le DDT, les détergents, etc... apparaissent dans le profil vertical de la qualité des sédiments à des dates précises. Grâce à cette méthode, il est alors possible d'évaluer l'âge récent des sédiments mais surtout d'établir la vitesse de sédimentation dans une région donnée. Ces techniques qui exigent un échantillonnage par carottage n'ont été malheureusement que très peu utilisées dans le Saint-Laurent et les résultats présentés dans les pages qui suivent ne se rapportent qu'à la couche de surface des sédiments de fond.

Caractéristiques physico-chimiques des sédiments

Selon les conditions hydrodynamiques qui y prévalent, le fond d'un cours d'eau peut être constitué par les matériaux du sous-sol naturel s'il s'agit d'une zone d'érosion ou par des matériaux apportés d'ailleurs, qui y sédimentent. Les études antérieures ont cependant montré que l'érosion du lit du Saint-Laurent contribuait peu à la charge solide en suspension et que cette dernière provenait surtout des tributaires et à un degré moindre des effluents domestiques et industriels.

C'est donc dire que la qualité et la nature des sédiments de fond sont fortement conditionnées par des caractéristiques locales comme la présence d'une ville ou la confluence d'un effluent. Il ne faut cependant pas

oublier que ce sont les différentes vitesses d'écoulement qui, par la suite, empêchent ou favorisent la sédimentation. C'est en tenant compte de ces diverses conditions géographiques et hydrodynamiques que sont présentées les grandes caractéristiques de la qualité des sédiments du Saint-Laurent, de Cornwall jusqu'à Rivière-du-Loup.

Lac Saint-François (figure 1)

Après la zone à fort potentiel érosif de Cornwall, le fleuve entre dans le lac Saint-François où la diminution des vitesses d'écoulement permet à la plupart des particules de sédimenter. C'est d'ailleurs pourquoi les fonds présentent une granulométrie de plus en plus fine à mesure qu'on va vers l'aval du lac ; c'est là aussi que se trouvent les eaux douces les plus claires du fleuve. L'augmentation de la teneur en sédiments fins s'accompagne d'un accroissement de la teneur en polluants et cette tendance atteint son apogée à l'entrée des deux chenaux entourant l'île de Salaberry.

On rencontre là des sédiments ayant des teneurs en plomb de l'ordre de 60 mg/kg (ppm) en arsenic de 5 à 7 ppm, en mercure de 15 à 20 ppm et en cuivre de 50 à 80 ppm. Nul doute que les barrages qui ferment ces deux chenaux sont en grande partie responsables de cette situation.

Lacs Saint-Louis et des Deux-Montagnes (figure 1)

De par son rôle de carrefour, le lac Saint-Louis présente des fonds très hétérogènes en granulométrie et en qualité. La partie centrale du lac est d'assez bonne qualité mais il n'en va pas de même pour la région de Beauharnois qui est certainement celle qui possède les sédiments les plus pollués du tronçon québécois du Saint-Laurent. Toutes les concentrations y atteignent des valeurs records comme par exemple 65 ppm de cuivre, 50 ppm de nickel, 90 ppm de plomb, 7 ppm d'arsenic, jusqu'à 34 ppm de mercure total.

Cette teneur en mercure extrêmement élevée est particulièrement inquiétante quand on sait les dangers



Figure 1 — Zones de dépôts et d'accumulation de polluants — Tronçon Cornwall/Varennes.

de ce métal et il est à craindre que toute la partie sud-ouest du lac Saint-Louis, autour des îles de la Paix et sur le littoral, soit le siège d'un problème aux dimensions aussi impressionnantes que celles que connaît le Nord-Ouest québécois. Il serait de première urgence d'évaluer avec précision l'étendue de cette contamination par le mercure, non seulement sur les sédiments mais également sur les organismes benthiques et les poissons. Le lac des Deux-Montagnes, pour sa part, présente des fonds dont la teneur en matière organique est très élevée. Cette présence de fortes teneurs en matière humique (tannins-lignine) n'est sans doute pas étrangère à l'abondance de métaux lourds, notamment le zinc, le cuivre et le plomb. Le mercure par contre n'y dépasse que rarement 1 ppm.

Une autre caractéristique particulière est la très grande abondance de phosphore inorganique surtout sous des formes calciques (au-delà de 1,000 ppm).

Tronçon Lachine - Varennes (figure 1)

Succédant aux rapides de Lachine, le bassin de La Prairie possède toutes les caractéristiques pour être une zone de sédimentation (faibles vitesses, faible profondeur, présence de plantes aquatiques); sa connaissance est cependant insuffisante pour en déterminer l'ampleur.

Ce tronçon est alimenté en solides par de nombreux égouts domestiques et industriels mais une partie seulement de ces solides s'y dépose (canal Lachine, certains secteurs de Montréal, littoral de Longueuil - Boucherville). Une bonne partie des solides déversés par la communauté montréalaise va se déposer beaucoup plus

en aval; en particulier ceux ayant emprunté les rivières des Prairies et Mille-Îles.

Cette caractéristique actuelle des nombreux égouts non traités se déversant près des rives risque d'être changée radicalement dans quelques années. En effet, la C.U.M. est en train de construire un collecteur ceinturant l'île de Montréal et devant amener toutes les eaux usées à une usine de traitement primaire située à l'extrémité « est » de l'île. De là, l'effluent primaire sera rejeté au fleuve en un endroit encore à déterminer.

Même après traitement, on évalue à environ 300 tonnes par jour la masse de solides ainsi lancée dans le fleuve. Ces solides ayant déjà échappé à une décantation, il est donc certain que l'impact de l'émissaire de la C.U.M. sera géographiquement très étendu, pouvant atteindre et même dépasser le lac Saint-Pierre selon le site choisi pour l'émissaire.

L'érection de l'usine projetée va certes améliorer, surtout du point de vue bactériologique, la qualité des eaux riveraines ceinturant l'île de Montréal. Il ne faut cependant pas perdre de vue que les sédiments de ces régions ont eu le temps depuis plusieurs années d'accumuler suffisamment de phosphore et de substances azotées pour entretenir longtemps encore une intense productivité biologique primaire par restitution de ces nutriments à la biomasse.

Tronçon Varennes - Sorel (figure 2)

Dans le secteur Varennes - Lanoraie, les nombreuses îles favorisent la sédimentation des particules en suspension. Ceci est particulièrement sensible dans la région de Contrecoeur qui constitue la première zone

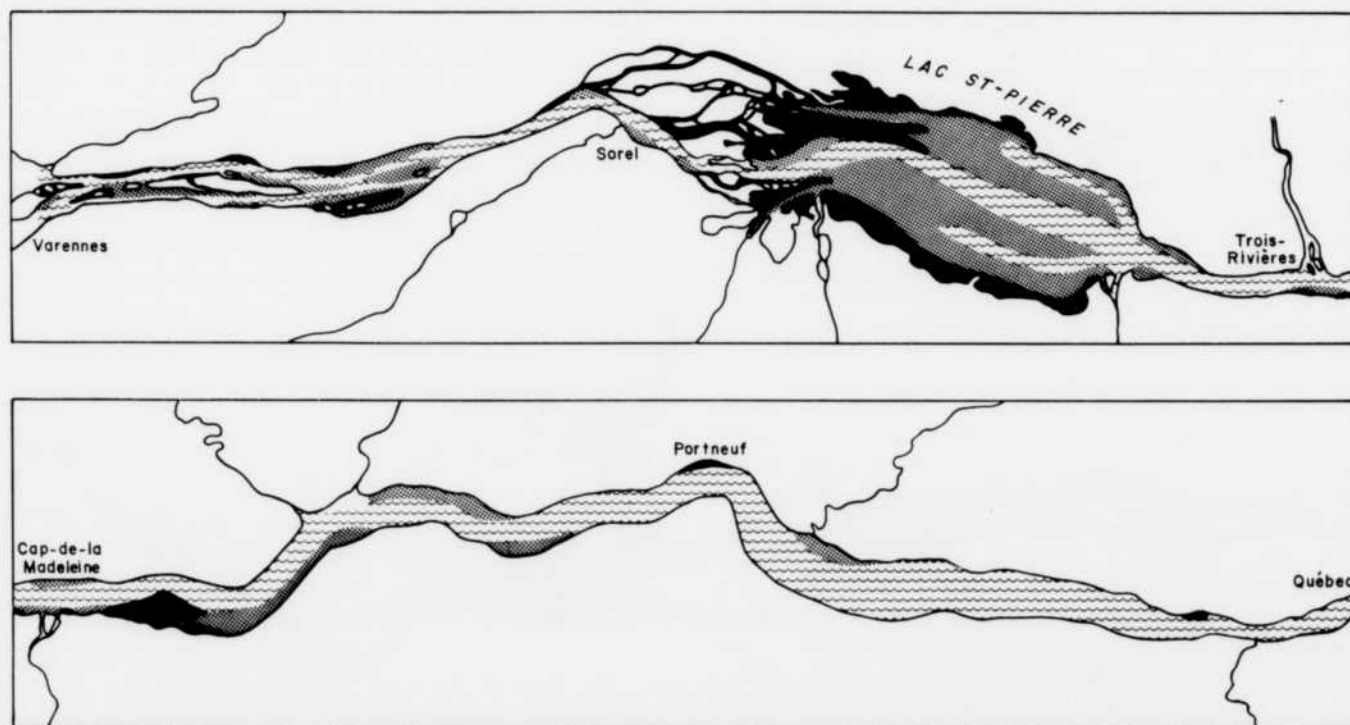


Figure 2 — Zones de dépôts et d'accumulation de polluants — Tronçon Varennes/Québec.

de sédimentation importante pour les solides provenant de la région montréalaise. Les sédiments de la région des îles de Contrecoeur présentent d'ailleurs une qualité assez mauvaise, ayant accumulé phosphore, métaux lourds et autres polluants organiques tels les détergents.

Il devra être tenu compte de la piètre qualité des sédiments de fond des zones à faible profondeur d'eau entourant les îles depuis Boucherville jusqu'à Contrecoeur si l'on songe à mettre en valeur leur potentiel récréatif ou biologique.

Delta de Sorel et Lac Saint-Pierre (figure 2)

Les nombreux bras entourant les îles de Sorel forment l'une des plus importantes zones de dépôts et d'accumulation de polluants du fleuve Saint-Laurent, rivalisant dans cette vocation avec la région de Valleyfield - Beauharnois. Les concentrations en phosphore (600-1,400 ppm), métaux lourds (50-300 ppm de zinc), détergents, etc... y sont trop élevées pour que ces substances soient uniquement d'origine locale, d'autant plus que les activités humaines y sont assez réduites.

Encore une fois il faut regarder plus en amont pour trouver la source et il ne fait aucun doute que bien des polluants accumulés dans les chenaux proviennent de la métropole. Rappelons au passage que le delta est baigné surtout par des eaux en provenance de l'Outaouais.

Le lac Saint-Pierre, du moins sa partie centrale, n'est pas à proprement parler une zone de sédimentation et les matériaux de fond y sont de bonne qualité. Il n'en va pas de même des vastes battures de la rive sud qui permettent à une grande partie des solides

transportés par les rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François de s'y déposer.

Comme ces rivières ont un transport solide appréciable et que les suspensoïdes ont le pouvoir d'absorber la majeure partie des polluants contenus dans l'eau, il est normal qu'une telle zone qui favorise la sédimentation présente des fonds de mauvaise qualité avec des concentrations en polluants plusieurs milliers de fois supérieures à celles de l'eau.

Tronçon Trois-Rivières - Québec (figure 2)

Entre la sortie du lac Saint-Pierre et Québec, on ne rencontre que peu de zones importantes de dépôts mais plutôt des accumulations locales le long des berges, à la faveur d'une rade, d'un quai ou de l'embouchure d'un tributaire. La seule zone d'importance où se retrouvent des sédiments pollués est celle des battures de Gentilly. Il faut signaler également que dans la région Sainte-Anne de la Pérade/Batiscan, le chenal de navigation nécessite de fréquents dragages d'entretien mais que les matériaux dragués sont suffisamment grossiers pour que cette région ne soit pas considérée comme une zone d'accumulation de polluants.

Tronçon Québec - Saguenay (figure 3)

Ce dernier tronçon d'eau douce et celui d'eaux saumâtres qui le suit sont le siège de mécanismes sédimentologiques complexes à cause des fortes marées, de la présence de nombreux chenaux et de l'intrusion des eaux salées. Les solides en suspension y prennent une importance particulière à cause du bouchon de turbidité, naturel ou amplifié par les dragages, qui est caracté-

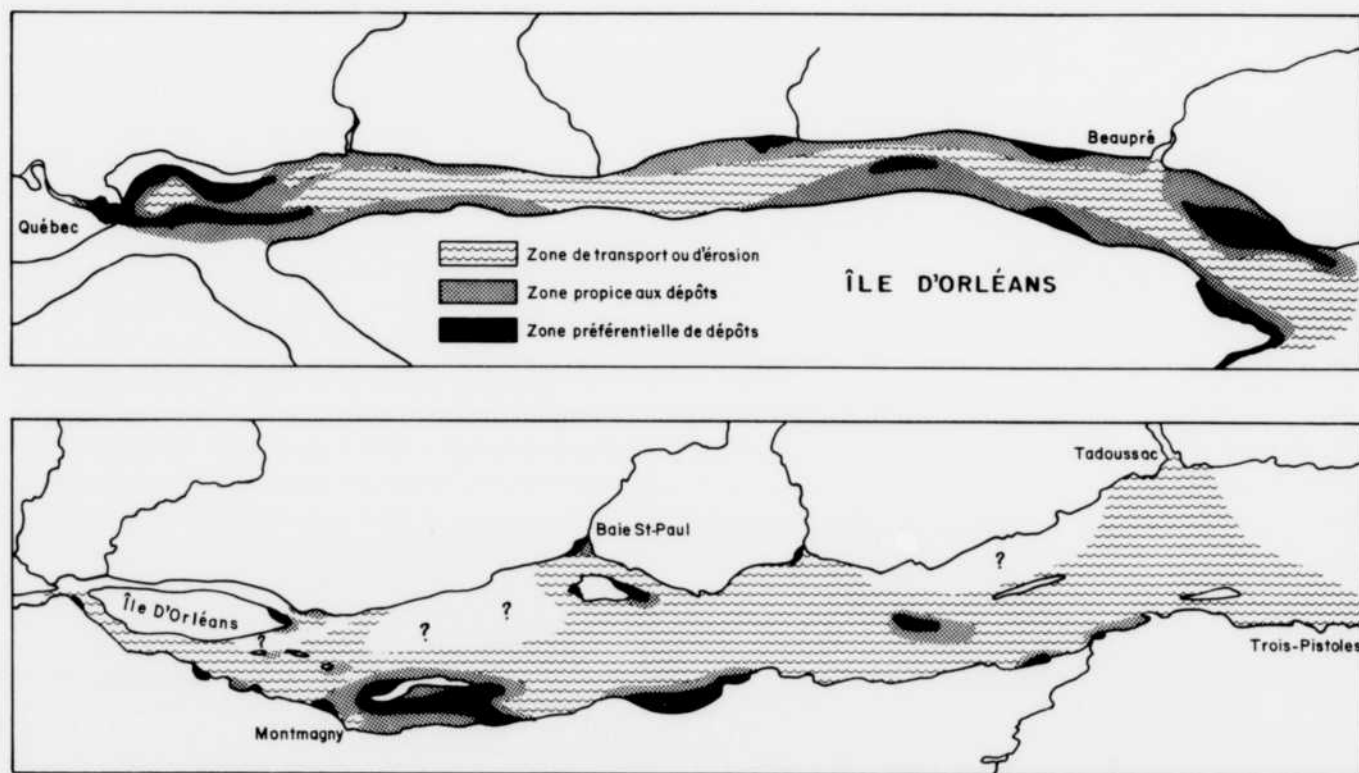


Figure 3 — Zones de dépôts et d'accumulation de polluants — Tronçon Québec/Trois-Pistoles.

téristique des zones de mélange. Les concentrations culminent en aval de l'île d'Orléans avec des valeurs allant de 60 à plus de 100 mg/l. Ces teneurs diminuent rapidement après l'île aux Coudres pour n'atteindre que 2 à 3 mg/l au niveau de Rivière-du-Loup.

Du point de vue qualitatif, les suspensoïdes renferment en moyenne 10% de matière organique tandis que, dans la fraction minérale, les minéraux argileux les plus abondants sont l'illite et la chlorite. Les teneurs en divers polluants y sont beaucoup plus élevées que dans les sédiments de fond et ce d'autant plus qu'il y a peu de solides, donc dans les eaux très salées. On note également que le rapport carbone/azote dans les suspensoïdes est très inférieur à ce qu'il est dans les sédiments de fond. Ceci tendrait à signifier que la contribution des fonds en azote fourni à la biomasse est très importante.

En ce qui concerne la qualité des sédiments de fond, il faut faire appel à certaines considérations hydrodynamiques pour en expliquer les particularités.

Dans un système soumis à la marée, l'un des critères influençant la sédimentologie est la vitesse résiduelle, à savoir le bilan, sur un cycle de marée, entre les écoulements vers l'amont et vers l'aval. Dans le cas du Saint-Laurent, on a pu constater la présence de trois chenaux où les vitesses résiduelles sont dirigées vers l'amont :

- le chenal de navigation de long de la rive nord
- le « Middle Traverse » au sud de l'île aux Coudres
- le chenal Beaujeu le long de la rive sud jusqu'à l'île aux Oies.

Par ailleurs, on constate aussi des dépôts importants à l'extrémité de ces trois chenaux. Dans le cas des deux premiers chenaux, il s'agit surtout de dépôts sablonneux mais, par contre, les dépôts de la rive sud sont plus fins et très pollués. En effet, en plus des dépôts qui ont fait l'objet de récents dragages dans la région de la pointe « est » de l'île d'Orléans, il y a dans le tronçon Québec - Saguenay trois grandes zones d'accumulation de polluants dans les sédiments de fond.

La première zone est constituée de deux extrémités du bras nord de l'île d'Orléans. Ce sont les deux seuls endroits de l'estuaire supérieur où on trouve des teneurs élevées en mercure. On retrouve également des teneurs anormalement élevées en zinc, DDT, DDE, phosphore et matière humique. Les environs de Ste-Anne-de-Beaupré et la batture de la Pointe-aux-Prêtres, riches en avifaune, sont particulièrement pollués.

La deuxième zone est celle comprise entre l'île aux Oies et la rive sud. Cette région où alternent des eaux douces et saumâtres est très propice à la sédimentation des particules. Elle se caractérise par des teneurs très élevées en phosphore, carbone, azote, césium 137 radioactif, cependant que les métaux lourds y sont présents en concentration normale pour des sédiments du Saint-Laurent. D'autre part, un carottage effectué près de l'île aux Oies a montré qu'on retrouve une qualité également mauvaise sur au moins trente centimètres. Par datation à l'aide de substances n'étant apparues que récemment (25 à 30 ans) dans l'environnement,

comme les détergents de synthèse ou le césium 137, on peut évaluer la vitesse de formation des dépôts à environ un centimètre par an. En bref, la région de l'île aux Oies semble être la zone d'accumulation de polluants la plus active de l'estuaire.

La troisième zone est celle de la baie de Ste-Anne-de-la-Pocatière. Du point de vue qualité chimique, elle est très semblable à la précédente ; les dépôts y sont extrêmement fluides et vaseux mais ne dépassent pas 15 à 20 cm et reposent sur un fond très grossier. Il est possible que cette région soit en équilibre, c'est-à-dire que même alimentée en solides elle ne progresse plus, les solides étant entraînés soit vers l'aval soit plutôt vers l'amont par le chenal Beaujeu jusqu'à la pointe « est » de l'île aux Oies.

Il est cependant très curieux qu'une couche de matériaux aussi fins repose sur un fond aussi grossier. Un carottage effectué à l'extrémité « ouest » de cette zone a montré que seuls les vingt premiers centimètres sont d'âge récent (moins de 30 ans) ; au-dessous, on retrouve des matériaux grossiers et moins pollués. Cette région aurait donc connu, dans un passé assez récent, un changement radical dans son comportement sédimentaire, changement dont la cause est assez difficile à établir.

Ces quelques caractéristiques sur la qualité des fonds du fleuve Saint-Laurent, tout en nous donnant une bonne idée des zones d'intérêt, laissent tout de même beaucoup d'endroits insuffisamment connus. Si la connaissance de la qualité des fonds souffre de certaines lacunes, celle des processus chimiques et biochimiques, dont cette phase solide est le siège, est encore plus grande.

Les connaissances à développer

Toutes les études effectuées jusqu'à présent sur les sédiments de fond se rapportaient presque exclusivement à la couche de surface. La prochaine étape à entreprendre devrait consister en un sondage systématique des fonds afin de déterminer l'épaisseur des couches meubles. La cartographie de ces résultats et la synthèse de toutes les données passées serait un outil fort utile dans un futur plan de gestion du fleuve. Pour être pleinement efficace, cette cartographie quantitative devra être accompagnée de renseignements qualitatifs obtenus par la technique du carottage afin d'évaluer la vitesse de formation des grandes zones de déposition reconnues. Par la même occasion, l'étendue et la progression récente des zones problèmes tels Beauharnois ou le delta de Sorel pourraient être évaluées.

À côté de ces connaissances, dont l'acquisition peut se faire relativement à court terme, il en est par contre qui nécessiteront des recherches plus fondamentales afin d'élucider les nombreux processus tant chimiques que biochimiques dont les sédiments sont le siège. Il y a tout d'abord ce rôle épurateur dont on connaît mal les limites mais surtout l'éventuelle réversibilité à la faveur d'un changement des conditions de pH, d'état oxydant ou d'oxydo-réduction. Le passage des polluants depuis les sédiments jusqu'aux organismes

vivants commence à peine à être connu. On sait, par exemple, le rôle primordial joué par les microorganismes des sédiments dans la méthylation du mercure qui permet à ce métal d'entrer dans la chaîne alimentaire. Il est également connu que certains animaux filtreurs ou se nourrissant à même les sédiments peuvent métaboliser les polluants que ces derniers renferment.

À la lumière de ces faits relatant l'importance et le rôle des sédiments, il est à souhaiter que davantage de précautions soient prises lorsqu'il est question de modifier des processus naturels par des dragages ou autres empiètements sur le lit du fleuve. Avant que de tels travaux ne soient entrepris, une connaissance suffisante des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la région concernée devrait être acquise. Des normes devraient être édictées pour que, selon la qualité des matériaux et la sensibilité écologique de la région, des précautions soient prises pour minimiser les impacts inévitables.

Conclusion

L'étude des milieux aquatiques s'est limitée trop souvent à l'étude physico-chimique de la tranche d'eau libre; elle ne tenait pas suffisamment compte des phases avoisinantes, à savoir les matériaux en suspension, les matériaux sédimentés et l'eau interstitielle, que ces derniers emprisonnent. Plus d'efforts devront être mis pour mieux évaluer les rôles qu'ils jouent dans

l'évolution des substances polluantes dans le milieu aquatique.

La vocation d'accumulation des polluants que manifestent certaines zones du Saint-Laurent, généralement quelques milles en aval des concentrations urbaines ou industrielles, devra aussi être précisée. Dans un plan de gestion globale du fleuve, cette prédisposition devrait être sinon encouragée, du moins respectée lors des interventions humaines sur ces milieux. ■

RÉFÉRENCES

- *Études physiques et sédimentologiques du Saint-Laurent entre Cornwall et Varennes* — Centreau, Université Laval, 1973.
- *Études physiques et sédimentologiques du Saint-Laurent entre Varennes et Montmagny* — Centreau, Université Laval 1974.
- *Étude de la qualité des sédiments et suspensions du Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles* — Centreau, Université Laval 1975.
- *Aqueous Environmental Chemistry of Metals* — Alan J. Rubin, Ann Arbor Science.
- *International Working Group on the Abatement and Control of Pollution from Dredging Activities* — Report — May 1975.
- *Comptes rendus de la Conférence Internationale sur le transport des produits chimiques persistants dans les écosystèmes aquatiques* — Ottawa, 1-3 mai 1974.

LE CIMENT DÉFIE LE TEMPS

La beauté n'a pas d'âge. Depuis des siècles, le Discobole, par la majesté et la puissance de son élan, règne sur tous les dieux du stade. Les générations à venir apprécieront encore la noblesse et la pureté de ses lignes.

Donner vie à la matière, innover constamment, voilà ce que les bâtisseurs d'aujourd'hui s'emploient à réussir avec un béton de qualité.

Qu'il s'agisse d'éléments préfabriqués en béton, de pavage, de ciment à maçonner ou de béton de haute qualité, les ciments du St-Laurent ont cette constance d'uniformité et de qualité qui défie le temps.

Ils permettent aux créateurs de s'exprimer sans contrainte et de réaliser des oeuvres qui susciteront l'admiration pour des générations à venir.

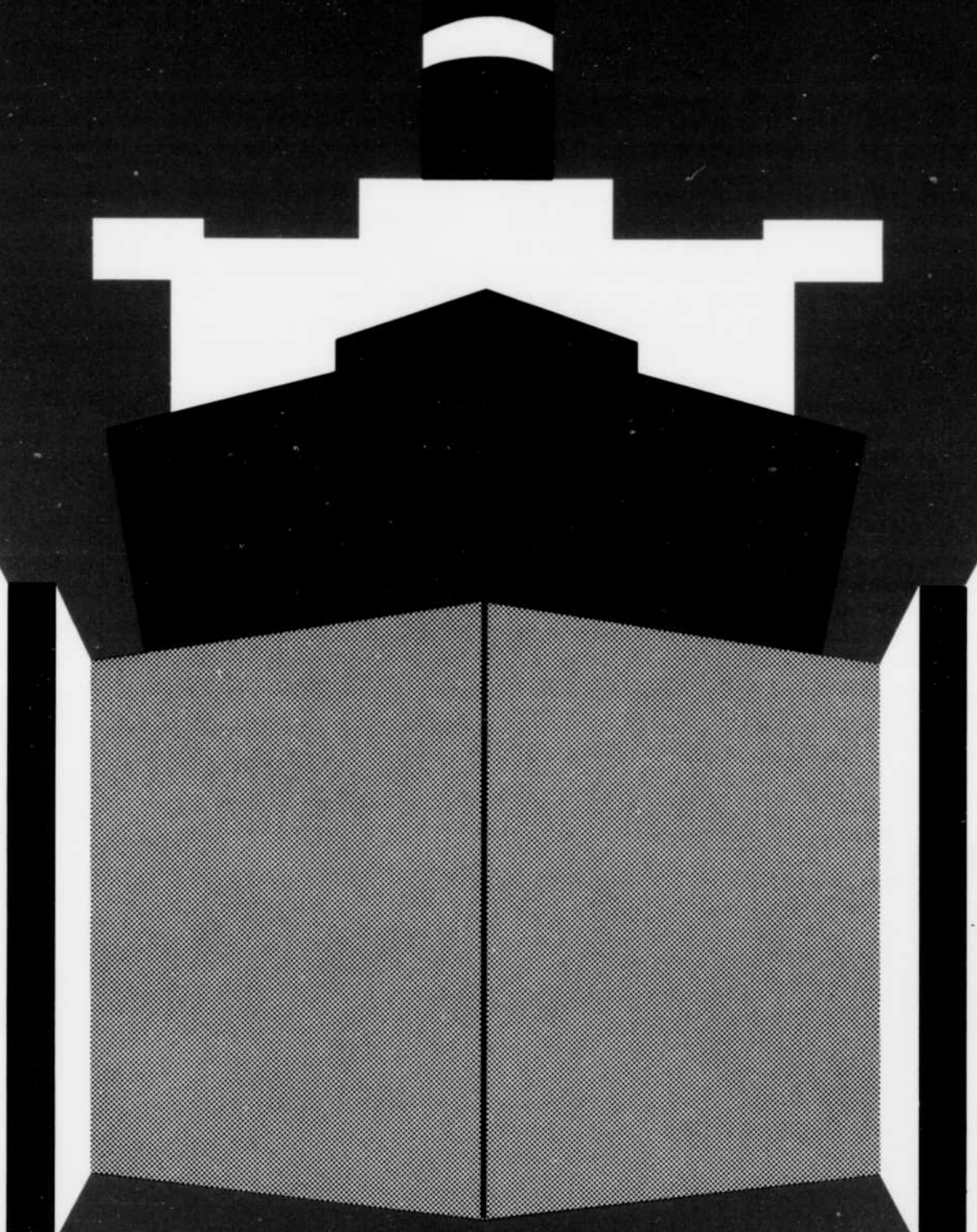


CIMENTS DU ST-LAURENT
une qualité à toute épreuve



Discobole dit Lancelotti.
Réplique d'après un original
datant du milieu du Vème
siècle av. J.-C.

la voie maritime



...une réalisation du génie humain
au service du commerce maritime canadien

l'Administration de la Voie maritime du Saint-Laurent
Ottawa, Canada

LE SAINT-LAURENT: VOIE MARITIME COMMERCIALE

par Jacques Y. Lavigne, ing. *

Sommaire

Le fleuve Saint-Laurent et la Voie Maritime sont examinés dans le contexte d'un cours d'eau profond, long de quelque 3780 km, qui est utilisé pour le transport maritime entre l'océan Atlantique et la tête des Grands Lacs. L'historique, l'exploitation et quelques particularités de son utilisation sont mis en lumière.

1. Introduction

Dans le but de contribuer à mieux faire connaître le fleuve Saint-Laurent, cet article traite de certains aspects d'une navigation commerciale grandissante ainsi que des aménagements et infrastructures qui permettent, d'une part, aux océaniques de faire la navette entre l'océan Atlantique et la tête des Grands Lacs et, d'autre part, aux bateaux des Grands Lacs de faire la navette entre Sept-Îles au Québec, et Thunder Bay (anciennement Port Arthur et Fort William) sur le lac Supérieur.

Ce lien entre le Saint-Laurent et les Grands Lacs existe depuis l'ouverture de la Voie Maritime du Saint-Laurent proprement dite entre Montréal et le lac Érié. Des écluses, des barrages hydro-électriques et d'autres barrages pour le contrôle du niveau des eaux, constituent les éléments principaux de cette voie navigable qui s'étend de la mer jusqu'à 3780 km à l'intérieur de l'Amérique du Nord (figure 1).

Il est aussi fait mention de certains services de la Garde Côtière Canadienne, de l'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent et de sa contrepartie américaine, la St. Lawrence Seaway Development Corporation, du Service de Pilotage et de particularités concernant l'exploitation et l'entretien de cette voie maritime.

L'auteur :

Ingénieur principal des Liaisons techniques à l'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent.

2. Historique

L'ouverture de la Voie Maritime, en avril 1959, marquait la réalisation d'un rêve vieux de 400 ans. Au début du seizième siècle, l'explorateur français, Jacques Cartier, dut reculer devant les eaux tumultueuses des rapides de Lachine et abandonner ainsi son rêve de découvrir le passage du Nord-Ouest et la route vers le riche et mystérieux Orient. À diverses époques au cours des 300 ans qui suivirent, on a creusé des canaux et aménagé des écluses autour des obstacles naturels qui parsèment le Saint-Laurent. Le désir d'utiliser la voie économique que fournissaient les eaux du bassin des Grands Lacs pour le transport des marchandises dans ce secteur important du continent contribua à accroître cette activité.

C'est Dollier de Casson, supérieur du Séminaire de Saint-Sulpice, à Montréal, qui, dès 1680, tentait les premiers efforts pour ouvrir la navigation intérieure. Homme d'une grande pénétration et d'une énergie infatigable, luttant contre l'opposition de ses supérieurs et l'apathie des colons de l'endroit occupés à défendre leur vie, il finit par réussir, après vingt ans de tentatives, à signer un contrat prévoyant la construction d'un canal qui relierait le lac Saint-Louis et Montréal. À la mort de monsieur de Casson, en 1701, ce canal mesurait 0.46 m de profondeur et 1.6 km de long. Ce n'est qu'en 1824 que le « canal de Casson » fut achevé. Depuis lors connu sous le nom de canal de Lachine, il avait 1.5 m de profondeur et comptait sept écluses.

Entre les années 1779 et 1783, les ingénieurs de l'Armée royale aménagèrent quatre petits canaux du côté nord du fleuve pour permettre à de légères embarcations de passer du lac Saint-Louis au lac Saint-François. Ces canaux avaient 0.76 m de profondeur et comportaient en tout cinq écluses, chacune large de 1.8 m, les premières à être construites sur le Saint-Laurent et peut-être même en Amérique du Nord.

L'aménagement du canal Érié, en territoire des États-Unis, au début du dix-neuvième siècle, stimula



Figure 1 — Voie navigable de l'océan Atlantique à Thunder Bay.

la construction d'autres canaux plus profonds et d'écluses plus importantes le long du Saint-Laurent. La voie fluviale, aux États-Unis, fournissait un lien rapide et continu entre les villes industrielles grandissantes du centre de l'Amérique du Nord et l'océan Atlantique, en passant par New York. Ceci constituait une menace sérieuse au transport maritime canadien et, en particulier, au progrès de la ville de Montréal et de son port. Cette situation donna lieu à une reprise d'activité qui amena le parachèvement du premier canal de Welland en 1833, l'ouverture du canal de Cornwall dix ans plus tard, de celui de Beauharnois en 1845 et, en 1848, l'amélioration du canal de Lachine.

Ainsi, au milieu du dix-neuvième siècle, les bâtiments de moins de 24 dm de tirant d'eau disposaient d'une voie navigable vraiment continue du lac Érié à la mer. Mais la longueur d'une voie navigable n'est qu'un des deux éléments essentiels à la viabilité du transport par eau, l'autre étant son utilisation par des navires capables de transporter de lourdes cargaisons ; sa faible profondeur et les dimensions réduites de ses écluses l'interdisaient. La croissance économique et le progrès commercial entrevus par les promoteurs des canaux ne pouvaient pas se réaliser immédiatement.

Car, tandis qu'un groupe de pionniers convaincus travaillaient à aménager canaux et écluses pour les besoins de transports par eau, un autre groupe de pionniers non moins ardents s'acharnaient à bâtir un chemin de fer pour les besoins de transports terrestres, et la concurrence en était grande. Les locomotives en nombre toujours croissant pouvaient acheminer leurs cargaisons, sans relâche, hiver comme été, alors que la saison navigable durait à peine sept mois à cette époque. Pour faire survivre le transport fluvial il fallait le moderniser, rendre possible le passage de grands navires, et c'est ce qui fut entrepris.

Entre 1850 et 1904, on approfondissait les canaux de Lachine et de Welland à 4.3 m. On parachevait, au début des années 1900, le canal de Soulanges pour remplacer le canal de Beauharnois. Également profonde de 4.3 m, cette section avait plus de 22 km de long et comptait cinq écluses, chacune d'une largeur de 13.7 m et d'une longueur légèrement supérieure à 85 m. On aménageait en même temps un nouveau canal à Cornwall. Beaucoup plus à l'ouest, au Sault Sainte-Marie, les Américains et les Canadiens, chacun de leur côté de la frontière, travaillaient ferme à aménager canaux et écluses pour relier le lac Supérieur

et le lac Huron. Enfin, en 1904, les canaux et les écluses entre Montréal et le lac Érié mesuraient tous 4.3 m de profondeur et certains d'entre eux, au Sault Sainte-Marie par exemple, étaient encore plus profonds.

À travers les années, le développement de la voie fluviale a suivi de près l'évolution de la flotte des Grands Lacs et du Saint-Laurent, depuis les canots des trafiquants de fourrures jusqu'aux petites embarcations à voile, aux goélettes et, enfin, aux vapeurs de plus en plus grands. En 1932, le Canada complétait les travaux du canal de Welland, d'une longueur de 43.5 km et d'une profondeur dominante de 7.5 m. Ce canal et ses huit écluses comblent la différence de niveau de 99.4 m entre le lac Ontario et le lac Érié. La construction du canal de Welland a marqué la première étape dans l'aménagement de la Voie Maritime que nous connaissons aujourd'hui. Comme nous le verrons plus loin, plusieurs facteurs, en plus des fonds énormes exigés, ont empêché l'achèvement simultané du canal de Welland et de la section Montréal-lac Ontario de la Voie Maritime.

2.1 Négociations entre le Canada et les États-Unis

Le Saint-Laurent coule surtout à l'intérieur des frontières du Canada et, s'il est vrai qu'au début plusieurs traités accordaient le droit de commerce aux États-Unis, ce n'est qu'en 1871 que le traité de Washington établissait une ligne de démarcation précise et formulait un règlement de navigation. La plupart des premières initiatives prises en vue de creuser cette voie entre les Grands Lacs et Montréal ont eu leur origine au Canada. Cependant, l'expansion industrielle et l'accroissement démographique rapides à l'intérieur du continent au cours de la seconde moitié du dix-neuvième siècle ont suscité une brusque demande de transport par eau, particulièrement pour le déplacement du blé et du minerai de fer. Des deux côtés de la frontière, l'intérêt public à l'égard de l'aménagement d'une voie navigable plus profonde sur le Saint-Laurent s'est alors vite manifesté. En 1895, les deux gouvernements nommaient une Commission des voies navigables profondes en vue d'étudier le projet et, deux ans plus tard, celle-ci se déclarait favorable à l'entreprise.

Une série d'études techniques vint compléter le rapport de la Commission et, en 1909, un traité établissait la Commission Conjointe Internationale, organisme doté de pouvoirs beaucoup plus vastes que son prédécesseur. La Première Guerre mondiale vint interrompre les négociations internationales et les travaux d'amélioration des canaux du fleuve Saint-Laurent et des Grands Lacs. Malgré une succession de tentatives pour arriver à un accord acceptable pour toutes les parties en cause, ce n'est qu'en 1951 que le Gouvernement du Canada fit savoir qu'il était prêt à aménager une voie navigable entièrement « canadienne » jusqu'au lac Érié, dès qu'on aurait trouvé le moyen d'aménager simultanément les installations hydro-électriques dans la section des rapides internationaux du Saint-Laurent. En décembre de la même année, le Parlement canadien votait la Loi sur l'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent et la Loi sur

l'aménagement de l'énergie des rapides internationaux ; la première autorisait la construction d'ouvrages de navigation du côté canadien du fleuve, de Montréal au lac Ontario, de même que sur le canal de Welland ; la deuxième permettait à la Commission hydro-électrique de l'Ontario de se joindre à un organisme de production d'énergie des États-Unis aux fins d'aménager les installations voulues dans la section des rapides internationaux du Saint-Laurent.

En 1952, les gouvernements du Canada et des États-Unis demandaient à la Commission Conjointe Internationale d'autoriser le projet de développement hydro-électrique, étant entendu que le Canada entreprendrait d'aménager, plus ou moins en même temps, tous les ouvrages voulus pour assurer la navigation à 8.2 m de profondeur entre Montréal et le lac Érié. La Commission donnait son assentiment par l'arrêté du 29 octobre 1952.

En 1954, la Commission fédérale de l'Énergie des États-Unis donnait l'autorisation à la « Power Authority of the State of New York » (P.A.S.N.Y.) de se joindre à son homologue ontarien en vue de commencer les travaux.

Dans l'intervalle, le Congrès des États-Unis avait voté la Loi Wiley-Dondero qui chargeait la St. Lawrence Seaway Development Corporation de creuser en territoire américain toutes les voies de navigation à 8.2 m de profondeur, permettant ainsi de contourner les obstacles de la section des rapides internationaux. La situation ainsi créée exigeait une consultation étroite entre les gouvernements des deux pays en vue d'éviter la duplication des écluses et des canaux.

Enfin, après cinquante ans d'études approfondies, de discussions et de négociations, il a été possible de procéder au parachèvement de la voie navigable profonde (figure 2).

2.2 Construction

C'est le 10 août 1954 que se donne le premier coup de pelle inaugurant le projet hydro-électrique du Saint-Laurent ; les travaux de la Voie Maritime commencent en septembre de la même année. Ce sont la Commission hydro-électrique de l'Ontario et la « P.A.S.-N.Y. » qui, ayant prévu de lancer leurs opérations conjointes en 1958, établissent en grande partie les délais de construction de tout le projet de la Voie Maritime du Saint-Laurent.

Malgré l'ampleur de ce projet d'ensemble et les difficultés qui ont dû être surmontées par les planificateurs, ingénieurs et entrepreneurs des travaux de la Voie Maritime, la période de construction a été relativement courte.

En vue d'obtenir un dégagement d'au moins 36 m pour la hauteur de mât des navires qui emprunteraient la Voie Maritime, il a fallu modifier de façon considérable la structure de quatre ponts de la région de Montréal, sans interrompre sérieusement la circulation routière et ferroviaire. Le creusement de nouveaux

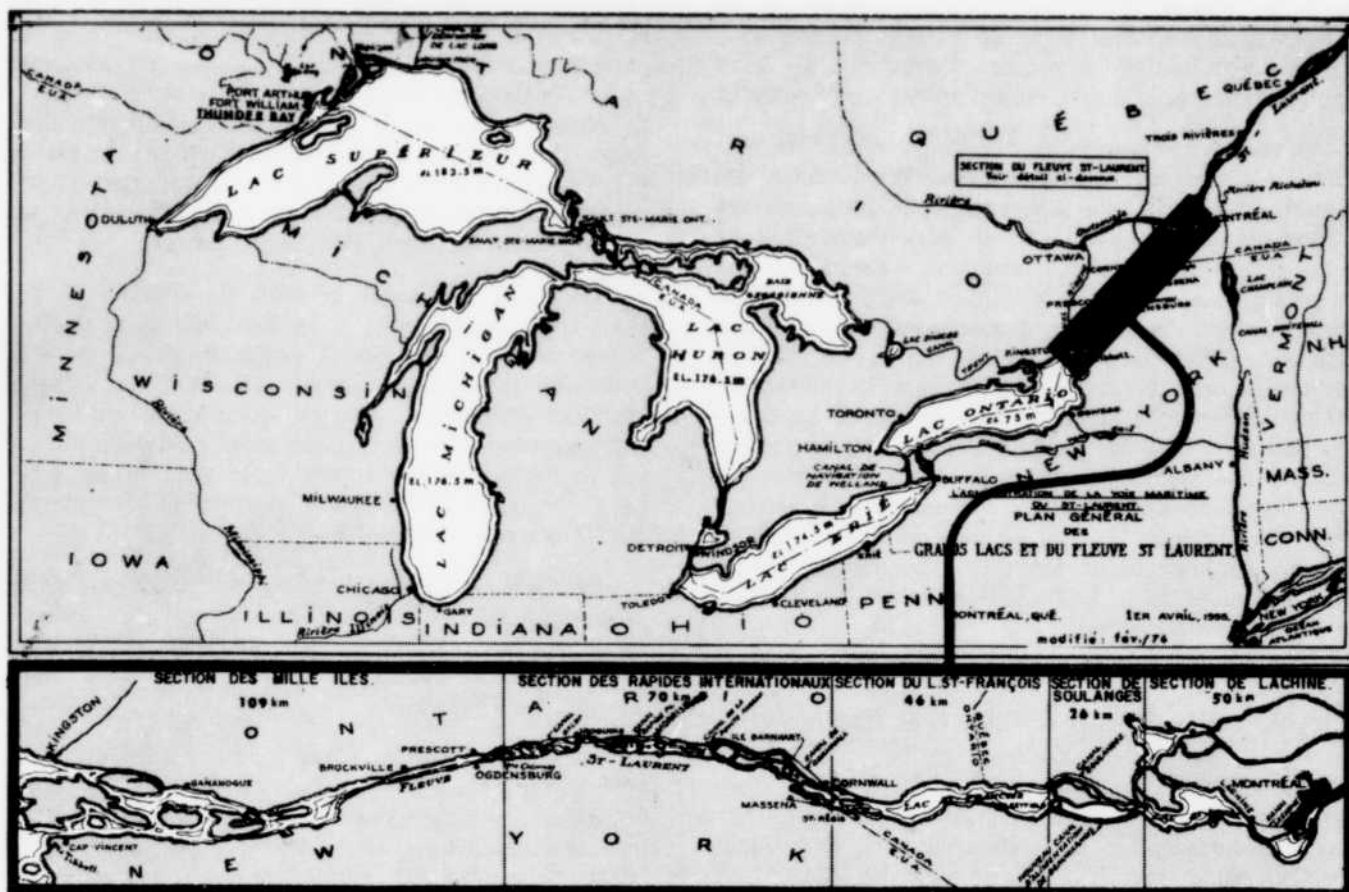


Figure 2 — Voie navigable profonde jusqu'à la tête des Grands Lacs.

chenaux et le dragage des anciens ont soulevé des problèmes insoupçonnés : par exemple, la découverte de formations rocheuses d'une dureté inattendue nécessitant le recours à de nouvelles méthodes et à des machines plus robustes. Le développement hydro-électrique, qui obligeait à inonder de vastes régions, a entraîné l'expropriation de 260 km² de terre et la relocalisation de communautés entières. À Welland, on a dragué, pendant les mois d'hiver, le lit rocheux du canal de 7.6 m à 8.2 m. Cette opération souvent difficile s'est faite sans avarie aux murs de retenue existants et sans interruption de la navigation.

En mai 1958, l'écluse d'Iroquois était en opération : les écluses Snell et Eisenhower, construites par les Américains à Massena, New York, s'ouvraient le 4 juillet et, le même jour, la station génératrice internationale Moses-Saunders produisait du courant pour la première fois. Il est remarquable que les délais de construction avaient été respectés presque jour pour jour.

Le 25 avril 1959, le brise-glace IBERVILLE, de la Garde Côtière Canadienne, amorçait le premier passage complet de la Voie Maritime du Saint-Laurent et l'ouverture officielle avait lieu le 26 juin de la même année. Aujourd'hui, après dix-sept années de fonctionnement, la Voie Maritime demeure un vibrant hommage à l'ingéniosité, à la compétence et à la persévérance de tous ceux qui ont participé à sa réalisation.

3. Écluses

Pour permettre le transport de lourdes cargaisons (de l'ordre de 26 000 t pour les plus grosses) sur un parcours total de 3780 km de long, il a fallu construire des écluses afin de contourner et franchir les obstacles naturels rencontrés. De l'océan Atlantique jusqu'à Montréal, le régime des eaux avec le dragage du fleuve Saint-Laurent n'offre aucun obstacle pour les navires chargés à 79 dm de tirant d'eau et c'est seulement à Saint-Lambert, tout près de Montréal, qu'on rencontre la première écluse. La dernière écluse avant d'arriver à la tête des Grands Lacs se trouve à Sault Sainte-Marie.

La St. Lawrence Seaway Development Corporation a la responsabilité aux États-Unis des deux écluses situées en territoire américain. L'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent, qui relève du gouvernement canadien, est responsable des cinq autres écluses dans la section du fleuve Saint-Laurent, des cinq écluses simples et des trois écluses jumelées dans la section de Welland et d'une petite écluse canadienne à Sault Sainte-Marie. Les trois grandes écluses de Sault Sainte-Marie sont exploitées par l'United States Corps of Engineers (figure 3).

Les sept écluses de la section Montréal-lac Ontario ainsi que celles du canal de Welland répondent toutes aux dimensions régulières suivantes :

Longueur utile du sas : 233.5 m

Largeur du sas : 24.4 m
 Profondeur (au-dessus des seuils) : 9.1 m

Les chenaux et les canaux de la Voie Maritime ont tous une largeur minimale de 61 m lorsqu'ils ont deux berges, de 92 m lorsqu'ils n'ont qu'une berge et de 127 m sur le parcours libre. La profondeur atteint partout 8.2 m.

3.1 Éclusage type

Le remplissage et la vidange de toutes les écluses de la Voie Maritime se font par gravité, suivant le principe des vases communicants.

Le cycle d'éclusage type comprend les étapes suivantes :

- égalisation du niveau de l'eau dans le sas avec le niveau d'entrée du navire ;
- ouverture de la porte entre le navire et le sas ;
- pénétration du navire dans le sas, arrêt, amarrage par une équipe de la Voie Maritime du Saint-Laurent, immobilisation et fermeture de la porte ;
- égalisation du niveau de l'eau dans le sas avec le niveau de sortie ;
- ouverture de la porte de sortie, largage des amarres au signal du maître-éclusier et départ du navire.

Plus de quarante navires peuvent passer dans une écluse pendant une journée d'activité intense.

Le remplissage d'une écluse ayant une dénivellation de 12.8 m nécessite environ 91 millions de litres d'eau et peut durer quelque neuf minutes.

4. Navires

Ils sont de toutes dimensions et de formes variées ; ils arborent les pavillons de plus de trente pays y compris le Japon, la Thaïlande, la Suisse, Taïwan et l'URSS et transportent des marchandises provenant d'une multitude de ports d'escale.

Les anciens navires de canal d'une longueur approximative de 80 m sont presque tous disparus. La tendance à l'utilisation de navires plus grands et plus efficaces a donné naissance à une nouvelle génération de navires construits, pour la plupart, aux dimensions optimales permises par les écluses de la Voie Maritime. Ces dimensions sont actuellement de 222.5 m (730 pieds) de long et 23 m de large. Le plus efficace et le plus typique de ces navires est le gros transporteur de vrac, appelé couramment « navire des lacs », que les maîtres-éclusiers et le personnel d'exploitation appellent « le 730 » (figure 4). Pour illustrer cette tendance, il suffira de noter qu'à l'ouverture de la Voie Maritime, en 1959, il y avait déjà quatre de ces « 730 » en service et que, dix ans plus tard, le nombre

ECLUSE	ENDROIT	HAUTEUR DE CHUTE m	ELEVATION AU DESSUS DU NIVEAU DE LA MER m*
A	Saint-Lambert	5.5	11.5
B	Côte Sainte-Catherine	9.0	20.5
C	Beauharnois-Aval	13.0	33.5
D	Beauharnois-Amont	13.0	46.5
E	Snell	14.5	61.0
F	Eisenhower	13.0	74.0
G	Iroquois	1.0	75.0
H	Welland - num. 1	13.0	88.0
I	Welland - num. 2	14.5	102.5
J	Welland - num. 3	14.0	116.5
K, L, M	Welland - 4, 5, 6 (en tandem)	42.5	159.0
N	Welland - num. 7	14.5	173.5
O	Welland - num. 8	1.0	174.5
P	Sault-Sainte-Marie	6.0	183.5

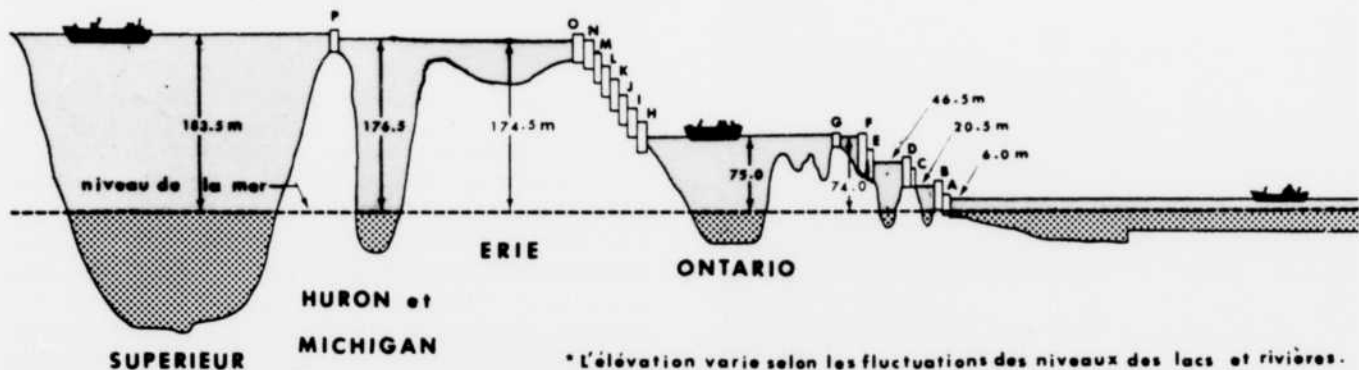


Figure 3 — ÉCLUSES de la Voie Maritime, hauteurs de CHUTE et PROFIL.

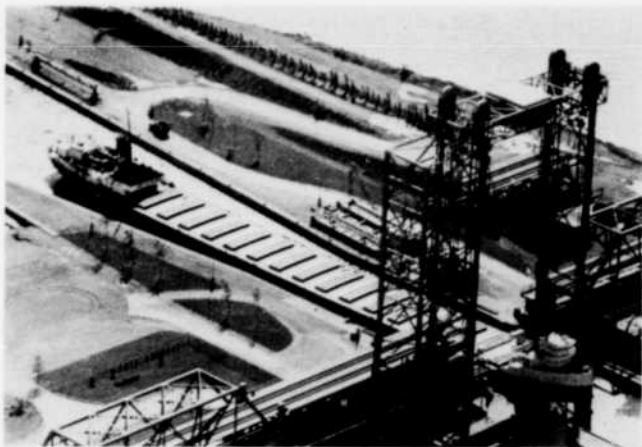


Figure 4 — Un bateau des Grands Lacs, gros transporteur de vrac, arrive à l'écluse de Saint-Lambert.

en était graduellement passé à 48 et ce nombre a encore augmenté depuis. Pour avoir une idée quantitative de cette évolution, il suffit de remarquer qu'en 1959 le nombre de transits dans la Section Montréal-lac Ontario était de 7590 pour 18 462 665 t de cargaisons tandis qu'en 1974 les transits se chiffraient à 4113 (45,8% de moins qu'en 1959) et les cargaisons à 40 048 771 t, soit plus du double de 1959.

Des modifications ont même été apportées à certains de ces navires qui ont été lancés au cours de la période de 1959 à 1968. Les auto-déchargeurs sont parmi les dernières innovations ; quelques-uns s'écartent des formes traditionnelles mais sont efficaces ; le « Canadian Century » et le « Canadian Progress » de la flotte Upper Lakes sont de cette catégorie. D'autres navires ont été construits avec tuyère de manœuvre latérale à l'avant ou à l'arrière, ou avec les deux, comme le « Ralph Misener ».

Les océaniques ont aussi changé ; la tendance actuelle est aux gros transporteurs mixtes de cargaisons en vrac et de marchandises diverses comme le « Rolwi » et le « Nanfri », tous deux d'immatriculation norvégienne et de 216 m de longueur. Ces navires, et d'autres comme le « Federal Schelde » et le « Federal St. Laurent », sont tous entrés dans la Voie Maritime



Figure 5 — Un océanique descendant est amarré à l'écluse de Saint-Lambert.

depuis 1968 ; ils transportent d'habitude des importations d'acier dans la Voie Maritime et retournent outre-mer avec des grains, des conteneurs et, à l'occasion, des rebuts de métaux. Ces navires, ainsi que de nombreux autres transporteurs plus spécialisés, ont été spécialement conçus pour le service dans la Voie Maritime (figure 5).

4.1 Cargaisons

La flotte commerciale des Grands Lacs transporte du minerai de fer des mines du Québec et du Labrador aux aciéries de la région des Grands Lacs ; les mêmes navires rapportent dans les ports du Bas Saint-Laurent du blé qu'on transborde sur des bâtiments de haute mer à destination de ports de l'Europe et d'autres continents. Parmi les autres denrées principales transportées à bord des navires qui empruntent la Voie Maritime, on retrouve le maïs, l'orge, les fèves de soya et autres céréales, le charbon, le sel, la pierre et divers produits minéraux, le mazout, la ferraille et l'acier, le papier journal et une foule de produits manufacturés.

En pourcentages du tonnage total depuis 1959, deux denrées ont dominé le marché : le minerai de fer qui représente environ 30 à 27% et les grains (spécialement le blé) 36 à 42%. Durant certaines années, ces deux articles à eux seuls représentaient plus des deux tiers du tonnage total.

La Voie Maritime a ouvert le centre de l'Amérique du Nord au commerce international ; aujourd'hui, des navires de toutes provenances rallient les ports du Saint-Laurent et des Grands Lacs, transportant d'imposantes cargaisons de produits finis, de produits sidérurgiques et d'autres marchandises diverses importées par le Canada et les États-Unis. Les possibilités nombreuses offertes aux navires de prendre des cargaisons de retour rassemblées dans les centres industriels de l'intérieur du continent augmentent encore l'attrait des Grands Lacs aux yeux des commerçants étrangers.

En ce qui concerne la section Montréal-lac Ontario de la Voie Maritime, il est intéressant de noter qu'approximativement 65% du trafic provient du Canada et que le reste se divise à peu près également entre les cargaisons en provenance des États-Unis et celles d'outre-mer. Par contre, si l'on tient compte de la destination de ces cargaisons, on peut dire que le commerce international représente approximativement 70% du tonnage total.

4.2 Ports

La Voie Maritime, conçue pour augmenter l'activité de l'ensemble des ports du Saint-Laurent et des Grands Lacs, doit une partie de son succès à leur adaptation à ce nouveau réseau de transport. Par l'aménagement d'installations pour les plus grands navires des lacs et les gros océaniques, par l'approfondissement des chenaux d'accès afin d'atteindre la profondeur de la Voie Maritime, par le dragage aux quais, aux jetées et aux aires de mouillage, par la construction des hangars à marchandises nécessaires aux terminus et d'él-

vateurs à grains, par l'adaptation ou la construction de nouveaux systèmes de convoyeurs ou de pipe-lines pour faire face aux besoins croissants du trafic, les ports ont largement contribué à la réalisation des objectifs de la Voie Maritime.

Sans ces grands travaux d'immobilisation, les ports intérieurs auraient continué à desservir uniquement leurs arrière-pays respectifs et seraient encore des ports d'escale régionaux ou locaux.

On peut reconnaître deux types distincts de ports de la Voie Maritime : les ports industriels comme Sept-Îles / Pointe-Noire, Superior et Ashtabula qui se spécialisent dans la manutention d'une marchandise, soit le minerai de fer ou le charbon, et dans l'accueil d'une seule catégorie de navires, et, deuxièmement, les ports d'escale commerciaux et généraux où les produits manufacturés, les grains et une multitude d'autres denrées ainsi que le charbon et le minerai de fer sont manutentionnés. Ce dernier groupe comprend des ports canadiens comme Toronto, Hamilton et Lakehead, et des ports américains comme Duluth, Milwaukee, Chicago, Detroit, Toledo, Cleveland et Buffalo.

Le grand port de Montréal, depuis l'ouverture de la voie navigable profonde, sert aussi de port d'escale sur la Voie Maritime du Saint-Laurent. Tout en conservant son rôle de port de mer, il s'est transformé en point de transbordement et de transfert pour devenir port de réseau comme ceux des Grands Lacs. C'est nettement à l'avantage de la Voie Maritime d'avoir un port de renommée mondiale de la dimension de celui de Montréal avec tous ses services et installations maritimes à l'entrée de la Voie Maritime canalisée. Les ports de Québec et de Trois-Rivières sont eux aussi parmi les ports d'escale présentant un attrait pour les océaniques, les caboteurs et les bateaux de commerce des eaux intérieures. Il est intéressant aussi d'observer qu'un certain nombre de ports ayant d'autres spécialités, comme Baie-Comeau, Sept-Îles / Pointe-Noire et Port Cartier qui servent de points de transbordement pour les grains et de points d'expédition pour le minerai de fer, se sont fait connaître, au moins indirectement, à cause de la Voie Maritime.

5. Aides à la navigation et saison navigable

Les voies navigables, tout comme les routes, doivent être tracées de façon précise, balisées correctement et soigneusement entretenues pour assurer à l'utilisateur un passage sûr et rapide. Il s'ensuit que les chenaux de navigation entre les écluses de la Voie Maritime sont soumis à des inspections régulières afin de garantir que la profondeur et la largeur répondent aux exigences de la navigation.

5.1 Pilotage

Les océaniques qui utilisent les voies navigables du Saint-Laurent et des Grands Lacs doivent obligatoirement utiliser les services de Pilotage à partir de Les Escoumins un peu en aval de la rivière Saguenay.

En effet, la profondeur d'eau à partir de la mer jusqu'à un point situé entre les Escoumins et la rivière Saguenay est supérieure à 300 m, mais à partir de là le fleuve commence à se rétrécir, les courants du Saguenay interviennent dans la navigation et la profondeur d'eau n'est plus que de 60 m vis-à-vis l'embouchure du Saguenay et de 10.6 m près de l'Île d'Orléans.

Avec les nombreux rétrécissements rencontrés plus en amont et à cause des nombreuses îles et autres obstacles à la navigation, il est indispensable pour un Commandant de navire de prendre à bord un pilote, qui pourra le conseiller grâce à sa grande familiarité du parcours à entreprendre, et des aides à la navigation relevant d'un des services de la Garde Côtière Canadienne, tels que le balisage de la voie navigable et les communications-radio avec les centres de contrôle du trafic.

Les bateaux des Grands Lacs, en raison de leur présence continue sur les voies navigables intérieures, ne sont pas tenus d'avoir recours aux services de Pilotage, sauf sur le fleuve entre Saint-Lambert et les Escoumins. Certains Commandants de navires océaniques, qui ont acquis une familiarité suffisante de la voie navigable grâce à leurs fréquents passages, obtiennent de Transports Canada un permis rendant le pilotage facultatif sur le lac Ontario.

5.2 Saison navigable

La saison navigable dans la section canalisée du Saint-Laurent, entre Montréal et le lac Ontario, doit tenir compte de façon toute particulière des rigueurs de l'hiver. Les conditions météorologiques et l'état des glaces ne permettent pas l'exploitation à longueur d'année. De plus, les dates d'ouverture et de fermeture sont difficiles à établir à l'avance.

Aujourd'hui, la saison de navigation de la Voie Maritime va du début d'avril à la mi-décembre. Depuis son ouverture, en 1959, diverses études ont permis de recourir à de nouveaux moyens de combattre la formation des glaces dans les écluses ; c'est ainsi que l'Administration a pu ajouter quelques 25 jours à la saison de navigation.

Pour obtenir ce résultat, l'Administration de la Voie Maritime du Saint-Laurent a consacré, au cours des dix dernières années, une somme de plus de 3.5 millions de dollars pour effectuer, parmi bien d'autres essais, les améliorations suivantes :

- Élargissement des ouvertures et des vannes de contrôle au barrage de régularisation du niveau du bief inférieur à l'écluse de Côte Sainte-Catherine, augmentant ainsi le débit possible de 100 m³/s à 300 m³/s pour :
 - concentrer un plus grand débit d'eau, relativement moins froide, dans la partie navigable du bief inférieur ;
 - retarder le refroidissement de l'eau de surface et la formation de glace ;

- faciliter la dérivation et l'évacuation des glaces à Saint-Lambert ;
- réduire la formation de frasil en aval de Saint-Lambert.
- Mise en service, aux écluses de Côte Sainte-Catherine et de Saint-Lambert, de systèmes de nouvelles prises d'eau auxiliaires, contournant la tête amont de l'écluse par gravité, pour chasser les glaces hors du sas ; opération prenant une dizaine de minutes avec un débit d'environ 100 m³/s.
- Mise en service, près des bordés amont des portes d'écluse, d'un système de jets d'air, pouvant dégager le logement des portes de glaces flottantes avec un débit d'air total d'environ 30 m³/min.
- Installation de calorifuges et de systèmes de chauffage sur des portes d'écluses (figure 6).

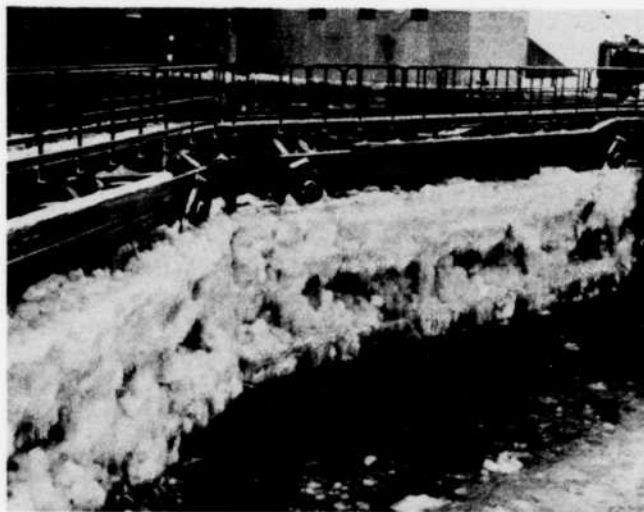


Figure 6 — Accumulation des glaces sur les portes de l'écluse à Saint-Lambert — décembre 1964.

Parmi les études et essais en cours, mentionnons les suivants :

- Mise à l'essai d'éléments chauffants électriques et application de produits chimiques hydrofuges sur les murs du sas pour y empêcher l'adhérence des glaces.
- Étude des résultats obtenus par la Garde Côtière Canadienne avec un véhicule à coussin d'air dans des endroits inaccessibles à ses brise-glaces.
- Expérimentation de barboteurs à air pour fondre la glace et l'évacuer en créant un courant de surface.
- Évaluation d'appareils producteurs de courants d'eau afin de contrôler la direction des glaces en amont des écluses et aux entrées des canaux.

- Études conjointes avec l'Hydro-Québec sur les méthodes de contrôle des glaces dans le canal de Beauharnois qui sert à la fois de canal d'amenée et de canal de navigation.

Les essais et améliorations déjà entrepris, en plus des études et évaluations en cours, permettent d'envisager un meilleur contrôle des glaces à l'ouverture et à la fermeture de la saison de navigation, une saison navigable plus étendue et des dates d'ouverture et de fermeture plus fermes. Ceci rendra un service appréciable aux usagers pour planifier les mouvements de leurs cargaisons avec une efficacité maximale.

6. Conclusion

Le cœur du continent et les Grands Lacs se sont ouverts aux ports du monde entier grâce au lien direct fourni par le Saint-Laurent, devenu partie intégrante du réseau de transport nord-américain. Et on ne saurait calculer la valeur de la contribution que la voie du Saint-Laurent et des Grands Lacs a apporté à l'industrie du transport maritime, ni l'avantage stratégique de sa situation à la frontière de deux pays qui sont à la pointe de la production agricole et minière mondiale. ■



ATLAS CONSTRUCTION LIMITED
LIMITÉE

255 RUE NORMAN ST., MONTREAL, QUEBEC H8R 1A3
TELEPHONE (514) 487-5350



Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc.
CONSULTANTS

génie, planification
et services
multidisciplinaires

1134 ouest, rue Ste Catherine, Montréal H3B 1H4 Québec



**La lettre "V"
sur une valve Jenkins,
c'est une garantie de qualité
signée Marcel Allard.**



Nous vérifions individuellement chacune de nos valves de fonte et bronze. Le siège est-il parfaitement étanche? Le corps de la valve résiste-t-il au double de la pression pour laquelle elle est garantie? Si oui, le vérificateur y imprime au poinçon une lettre, la sienne. Marcel Allard, lui, a la lettre "V". Et quand il accepte de l'imprimer sur une valve, c'est que c'est une bonne valve.

Ces tests de pression ne sont que deux des nombreuses vérifications et inspections détaillées qui accompagnent la fabrication des valves de fonte et bronze Jenkins. Nos valves d'acier forgé passent évidemment par une série d'épreuves de qualité tout aussi rigoureuses.

C'est l'expertise de gens attentifs comme Marcel Allard qui vous garantit la qualité de nos produits. Alors si vous voyez un "V" sur une valve Jenkins, faites confiance à Marcel.

JENKINS

Le spécialiste en valves



Jenkins Snc

La récupération de la chaleur

dans les immeubles à logements multiples



Bon à découper

J'aimerais recevoir gratuitement
votre brochure sur la
récupération de la chaleur.

Nom _____

Entreprise _____

Fonction _____

Adresse _____

Ville _____ Tél. _____

Hydro-Québec

La récupération de la chaleur

Boîte postale 6106

Montréal, Québec

H3C 3H6

ING 6-76

Le prix de l'énergie subira, au cours des prochaines années, les effets de l'inflation. Cette situation économique suscite chez les concepteurs et propriétaires d'immeubles un intérêt accru pour les techniques nouvelles assurant un usage plus rationnel de l'énergie.

C'est précisément dans cette optique que l'Hydro-Québec vous offre une brochure exposant les aspects techniques et financiers d'une méthode de récupération de la chaleur.



LE CHENAL MARITIME DU SAINT-LAURENT: CARACTÉRISTIQUES ET DÉVELOPPEMENT

par Charles Pellegrin, ingénieur *

Sommaire

L'article fournit les données principales sur le chenal maritime qui relie Montréal à l'estuaire. Les problèmes rencontrés et les solutions retenues dans le développement du chenal sont illustrés à l'aide d'exemples récents.

Introduction

La navigation commerciale sur le Saint-Laurent, voie d'accès naturelle au cœur du continent nord-américain, joue un rôle très important dans le développement économique du Canada et du Québec. Cependant l'adaptation du fleuve aux exigences de la navigation moderne n'a pu se faire que grâce à l'exécution de travaux très importants tels qu'installations portuaires, canaux et écluses, phares et balises, ouvrages de retenue des glaces et dragages.

Tous ces travaux et les études dont ils ont été l'objet ont fait appel aux diverses disciplines du génie civil qu'il n'est pas possible de couvrir dans un article aussi court. Cet article traitera donc plus spécialement de la conception du chenal navigable et des travaux de dragage dans le secteur s'étendant de Montréal à l'Île aux Coudres, connu sous le nom de chenal maritime du Saint-Laurent et qui relève de la Garde côtière canadienne, ministère des Transports. Les problèmes rencontrés et les solutions retenues seront illustrés à l'aide d'exemples récents.

Le chenal maritime (figure 1)

Situation actuelle

De Montréal à Québec, le chenal a une profondeur de 10.7 m au zéro des cartes et une largeur de 243.8 m (304.8 m dans les coudes). En aval de Québec, la pro-

* L'auteur :

Ingénier à la Garde côtière canadienne, ministère des Transports, à Ottawa. Il est chargé des projets spéciaux à la division du Développement des Voies navigables.

**

Les problèmes de la navigation d'hiver ont été traités par M. Bernard Michel dans le numéro mars-avril 1976 de L'INGÉNIEUR.

fondeur à marée basse est de 12.5 m, soit 16.5 m utilisables à marée haute ; la largeur minimale est de 304.8 m. Long de 370 km le chenal a dû être dragué sur 200 km dont 170 km entre Montréal et Québec et 30 km en aval de Québec.

Trafic

Le chenal maritime dessert les ports de Montréal, Sorel, Trois-Rivières et Québec ainsi que la Voie maritime du Saint-Laurent. Depuis une dizaine d'années, il est aussi ouvert à la navigation durant les mois d'hiver**.

Environ 110 millions de tonnes de marchandises sont transportées annuellement dans le chenal dont 22% de vrac liquide (produits pétroliers) et 59% de vrac solide (minerais, grain). Le tonnage total se répartit à peu près également entre les ports et la Voie Maritime.

Quelque 10,000 navires empruntent le chenal chaque année (20,000 passages). Montréal peut recevoir des navires de 30,000 à 40,000 tpl¹ selon le niveau de l'eau et Québec des navires de 100,000 à 120,000 tpl. La tendance est à une augmentation du tonnage moyen par navire.

Exploitation

Les 50 millions de m³ de chenal sont entièrement sondés chaque année. Les dragages d'entretien sont très faibles compte tenu de la longueur du chenal : 300,000 m³/an en moyenne.

Environ 120 feux et phares ont été construits et plus de 300 bouées sont mises en place chaque printemps et retirées à l'automne. En outre, 170 bouées spéciales et 4,500 m d'estacades flottantes sont installées chaque automne pour la navigation d'hiver.

De l'équipement anti-pollution est stocké à Montréal, Sorel, Trois-Rivières et Québec.

Pour l'exploitation et l'entretien du chenal, la Garde côtière emploie une flotte de quelque 9 navires sondeurs, 10 navires pour les bouées et feux, 6 brise-

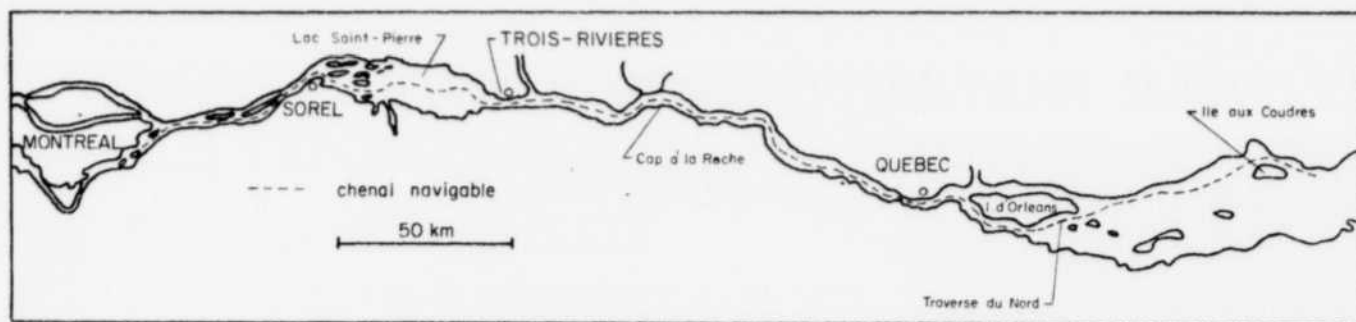


Figure 1 — Le Saint-Laurent, de Montréal à l'île aux Coudres.

glaces, et dépense annuellement plus de 20 millions de dollars.

Évolution

Comme le montre la figure 2, le gabarit du chenal de Montréal à Québec est passé de 76.2×4.9 m en 1854, à 137.3×9.1 m en 1907, puis à 167.6×10.7 m en 1952, pour atteindre son gabarit actuel en 1970. La section du chenal a donc été multipliée par 7 en un peu plus d'un siècle. En aval de Québec, la profondeur a été portée de 9.1 à 12.5 m en 1974. Dans la mesure du possible le chenal a été conçu de façon à ce que les courants ne dépassent pas 1.8 m/s.

À titre indicatif, l'élargissement de 167.6 à 243.8 m a coûté près de 70 millions de dollars de 1952 à 1970 et l'approfondissement en aval de Québec près de 15 millions de dollars de 1971 à 1974.

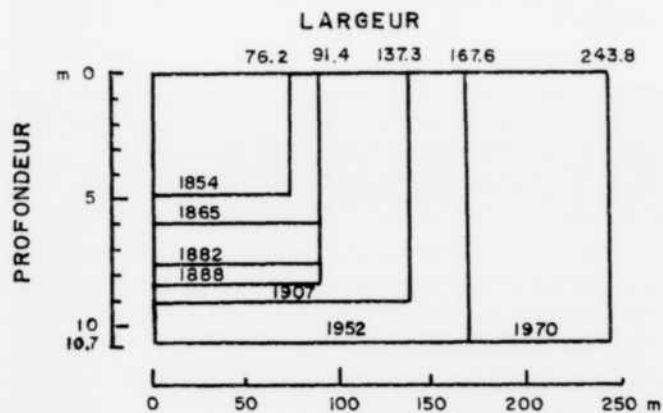


Figure 2 — Évolution du chenal maritime.

Futur

Le chenal a atteint un palier dans son développement. Un mètre supplémentaire, entre Montréal et Québec, représente plusieurs dizaines de millions de m^3 de dragages, ce que la stagnation actuelle du tonnage ne saurait justifier. L'on s'attachera plutôt à procurer quelques décimètres additionnels par une utilisation plus systématique des niveaux d'eau et une connaissance plus précise des fonds combinées avec quelques dragages locaux². D'ores et déjà on publie chaque semaine, sauf en hiver, les prévisions de niveau d'eau entre Montréal et Trois-Rivières, et des graphiques permettent de déterminer le tirant d'eau maximal acceptable en fonction de la profondeur d'eau et de la vitesse du navire (figure 3).

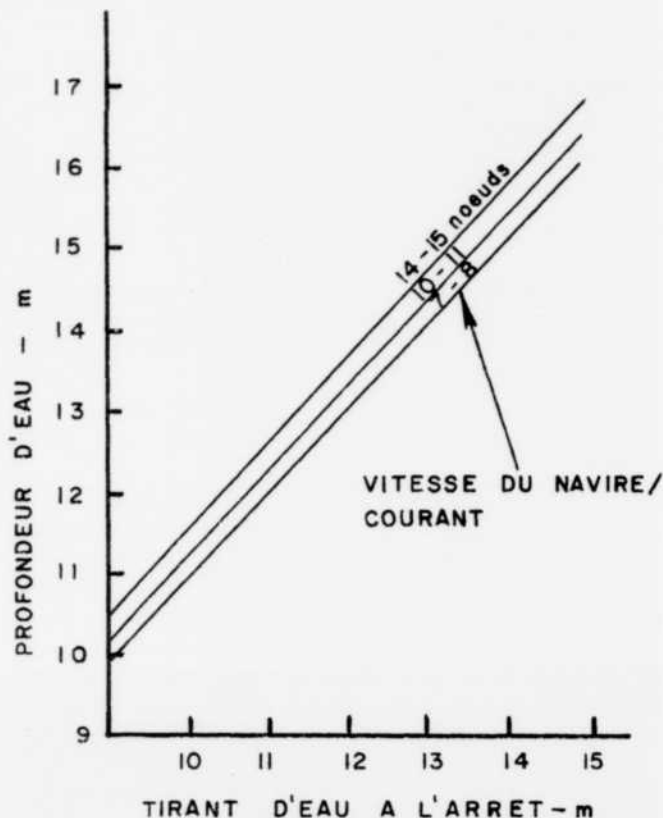


Figure 3 — Relation profondeur — tirant d'eau — vitesse pour le chenal maritime du Saint-Laurent.

En aval de Québec, le nouveau chenal devrait répondre aux besoins pour de nombreuses années d'autant que, si l'on en croit la « Lloyds », l'ère des navires de plus de 200.000 tpl tire à sa fin. Les futures commandes porteront principalement sur des pétroliers et minéraliers de taille moyenne (jusqu'à 150.000 tpl) dont la plupart pourront remonter jusqu'à Québec.

Études et travaux

Les premiers travaux d'aménagement du chenal maritime ont été basés surtout sur la connaissance et l'expérience du fleuve qu'avaient les ingénieurs et navigateurs³. Depuis la fin des années 50, l'on a en outre utilisé de façon systématique des moyens d'études plus scientifiques tels que modèles réduits et mathématiques et relevés hydrauliques.

De nombreux problèmes rencontrés dans l'amélioration du chenal navigable et des installations portuaires ont pu être résolus grâce aux études hydrauliques : elles ont permis d'améliorer ou au moins de

maintenir les conditions de navigation et d'écoulement de l'eau, de la glace et des sédiments, tout en protégeant les intérêts riverains⁴. Des études sur le comportement des navires ont de plus permis d'élaborer des règlements de circulation reliant les caractéristiques des navires à celles de la voie d'eau. La Garde côtière a aussi été associée à toutes les études dont les résultats pouvaient affecter la navigation (comme exemple : la régularisation des débits).

Des moyens relativement importants ont été mis en œuvre. Des équipes munies d'instruments modernes effectuent des relevés hydrauliques sur le Saint-Laurent depuis une quinzaine d'années. Le Centre de Recherches hydrauliques du ministère des Transports, situé en banlieue de Montréal, abrite des modèles réduits de divers secteurs du fleuve. En outre, un modèle d'ensemble du Saint-Laurent, de Montréal à Pointe-au-Père (échelle des longueurs 1/2 000, échelle des profondeurs 1/120), a été construit au Conseil national des Recherches à Ottawa. Ce modèle est doublé d'un modèle mathématique.

De nombreux contrats d'études et de recherche ont été passés avec le secteur privé (études sur modèles, études de l'action des glaces sur les navires, études de sédimentation, études de stabilité des talus, forages et sondages sismiques, photographies aériennes et photogrammétrie) et avec les Universités (études de glace, traitement des données par ordinateurs, analyses de sols).

Les travaux de dragage ont tous été confiés à l'entreprise privée depuis que le ministère des Transports s'est séparé de ses dragues vers 1935.

Quelques exemples

Lac Saint-Pierre

Avant d'entreprendre l'élargissement du chenal de 167.6 à 243.8 m dans le lac, ce qui représentait le dragage de 13 millions de m³ d'argile et de silt, il a fallu en vérifier les conséquences sur les niveaux d'eau, les courants et les glaces. Il s'agissait également de voir si, dans l'hypothèse d'une augmentation de la profondeur d'eau disponible en aval de Montréal, de 10.7 à 11.9 m, il ne serait pas préférable d'adopter le plus tôt possible un nouveau tracé pour le chenal dans le lac.

Des études préliminaires ont établi que la construction de barrages et digues pour augmenter la profondeur entre Montréal et Trois-Rivières, incluant un nouveau chenal bordé d'une digue le long de la rive sud du lac, était beaucoup plus coûteuse que le dragage du chenal existant dont les effets sur les niveaux d'eau pouvaient être minimisés par la création d'épis submergés.

Les essais sur un modèle du lac à fond fixe au 1/600 et 1/75 ont montré que l'élargissement envisagé était acceptable et que l'on pourrait créer des hauts-fonds parallèles au chenal avec les produits de dragage pour aider à contenir le champ de glace.

Les travaux ont été effectués de 1968 à 1970 par des dragues aspiratrices stationnaires qui refoulaient à

450 m du chenal. Ils ont coûté 5.4 millions de dollars (\$0.41/m³ en moyenne).

Cap-à-la-Roche

Au Cap-à-la-Roche, 40 km en aval de Trois-Rivières, le chenal, creusé dans du schiste très dur subit un changement d'orientation de 45° par deux coudes séparés par une section droite de 680 m. Les courants, pouvant atteindre 3 m/s, déportaient les navires descendant le fleuve vers le côté opposé du chenal, ce qui rendait les croisements dangereux. Pour lutter contre ces courants, les navires étaient forcés de serrer le côté intérieur du chenal d'où risque supplémentaire d'embarquée⁵. Les navigateurs recommandaient un élargissement de 30 m de chaque côté.

Les études ont comporté un relevé des courants, une enquête auprès des navigateurs, des observations depuis des navires commerciaux, des forages et des essais sur un modèle à fond fixe au 1/600 et 1/150. On avait vérifié sur le modèle d'ensemble que les travaux envisagés n'auraient aucun effet mesurable sur les niveaux d'eau.

Les observations ont confirmé que le secteur était dangereux au courant maximal, mais le modèle a démontré qu'il n'était pas possible de supprimer entièrement le phénomène. Un élargissement parallèle aux limites du chenal était sans effet. Par contre, un dragage sur le côté intérieur, selon une courbe déterminée sur le modèle, combiné avec une disposition appropriée des produits de dragage, permettait une certaine réorientation des courants parallèlement à l'axe du chenal. Cette solution réduisait les dragages de 20% tout en étant plus efficace.

Les travaux ont été exécutés en 1972-1973 par des dragues à cuillère, les matériaux étant transportés par chaland (photo 1). Le schiste ayant dû être dynamité (photo 2), les maisons de Deschaillons qui surplombent le fleuve de 40 m ont été inspectées et les secousses enregistrées ; aucun incident n'a été signalé. Le vidage des produits de dragage a aussi été surveillé de très près. Le dragage des 360,000 m³ de schiste a coûté 2.7 millions de dollars (\$7.44/m³).

Des relevés de courant effectués après la fin des travaux ont confirmé les résultats du modèle.

Traverse du Nord

Afin de permettre au port de Québec de recevoir des navires tirant près de 15 m (120,000 tpl environ), le chenal de la Traverse du Nord, à 30 km en aval de Québec, devait être approfondi de 9.1 à 12.5 m à marée basse, sur une longueur de 30 km, par le dragage d'environ 10 millions de m³ de sable et de gravier. La profondeur de dragage de 12.5 m avait été choisie à la suite d'une analyse des marées enregistrées dans le secteur afin d'assurer au moins une fois par jour, plus de 90% du temps, une profondeur utilisable à marée haute de 16.5 m pour le passage des gros navires.

La rentabilité du projet dépendait essentiellement du taux de remplissage du nouveau chenal : l'entretien du chenal de 9.1 m était de l'ordre de 90,000 m³/an⁶



Photo 1 — Dragage au Cap-à-la-Roche.



Photo 2 — Dynamitage au Cap-à-la-Roche.

concentrés en deux zones principales sous forme de dunes (figure 4), et il s'agissait de savoir dans quelle mesure ce volume serait changé par l'approfondissement.

Pour cela l'on a mesuré et analysé les niveaux d'eau, les courants, la salinité et les déplacements de fond à l'aide de traceurs fluorescents et effectué des forages et sondages sismiques. Deux modèles réduits ont été utilisés : le modèle d'ensemble et un modèle à fond mobile et à marée qui, en dépit des limitations dues aux échelles (1/10 000 et 1/500), s'est avéré un outil précieux (photo 3).

Il n'a pas été possible de déterminer l'importance relative des causes possibles de remplissage — charriage, salinité⁷ et tempêtes. Cependant, le modèle d'ensemble a montré que les changements apportés aux marées et courants seraient trop faibles pour remettre en question le régime du transport solide. Il n'y avait donc aucune raison pour que le taux de remplissage naturel augmente considérablement.

Il s'agissait donc de trouver des zones de vidage dans le lit du fleuve, zones situées le plus près possible des travaux pour des raisons économiques évidentes, mais d'où les matériaux ne pouvaient revenir vers le chenal⁸.

Le modèle à fond mobile a permis d'établir une ligne sensiblement parallèle au chenal et au-delà de laquelle les matériaux se déplaceraient vers l'aval sous

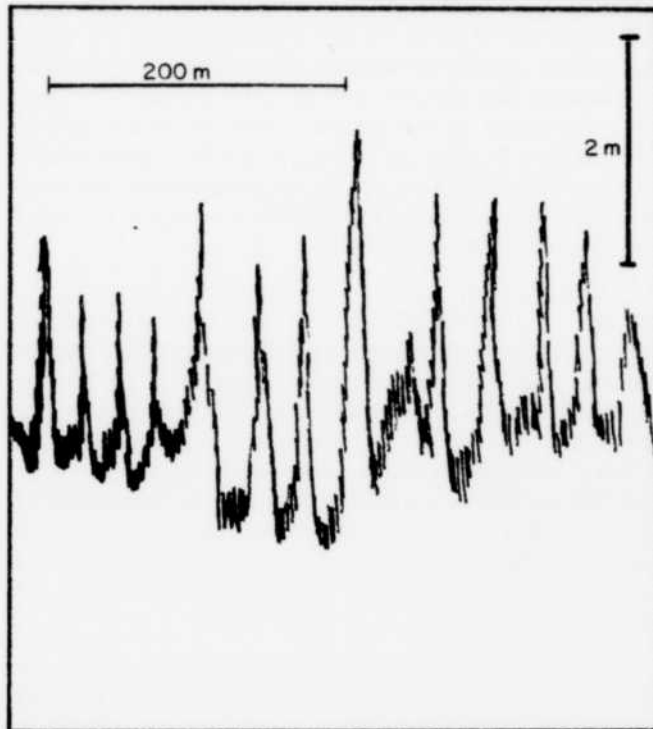


Figure 4 — Traverse du Nord, profil longitudinal du fond dans les zones de remplissage.

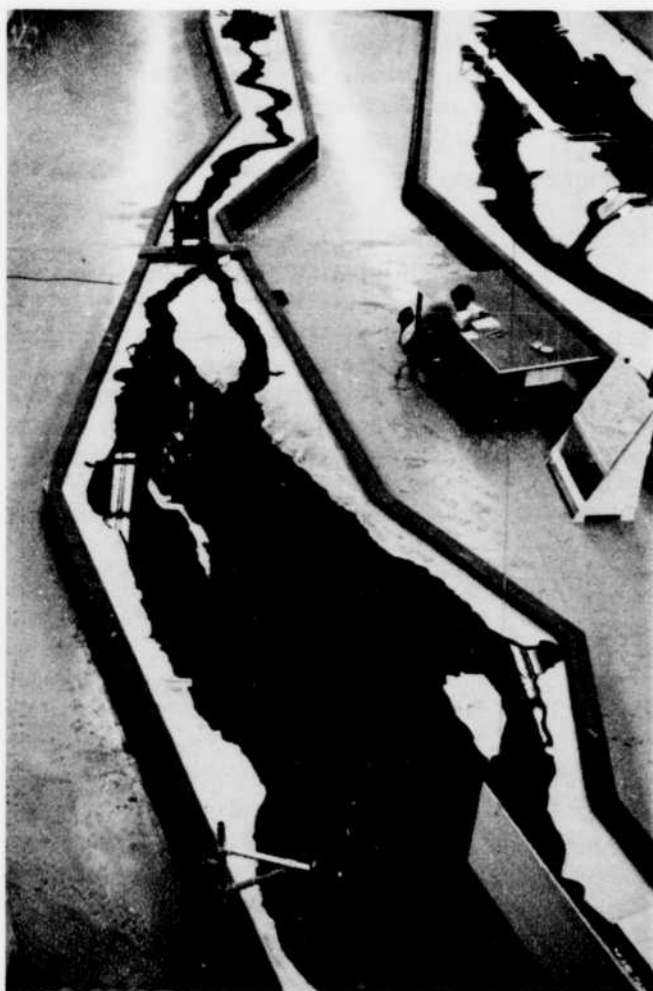


Photo 3 — Modèle à fond mobile du Saint-Laurent, de Sorel à l'Île aux Coudres.

le jeu des marées. Les zones choisies pour les travaux étaient en général à une certaine distance de la ligne pour tenir compte de l'action des tempêtes.

La conclusion de ces études fut que les dragages d'entretien du nouveau chenal seraient de moins de 150,000 m³/an, ce qui était économiquement acceptable.

Les travaux, qui ont coûté quelque 20 millions de dollars (\$1.95/m³), ont été exécutés de 1971 à 1974 par deux dragues aspiratrices stationnaires de 60 et de 75 cm de diamètre et par une drague à godets (photo 4). Les produits de dragage étaient transportés dans des barges automotrices de 1,100 m³ et leur vidage contrôlé par radar et navires-sondeurs.

Les premières indications sont que le remplissage du nouveau chenal est de l'ordre de grandeur prévu, c'est-à-dire que les volumes à draguer annuellement seront relativement faibles. Toutefois, l'entretien pourrait devenir un problème si l'équipement utilisé n'était pas bien adapté à ce genre de travaux. Après quelques années d'observation, il sera peut-être possible de créer des fosses de remplissage aux endroits critiques afin de réduire la fréquence des dragages d'entretien.

Parallèlement, on a observé le comportement des plus gros navires empruntant le chenal avant l'approfondissement (40,000 à 60,000 tpl) et effectué des essais à l'aide de maquettes de navires télécommandés sur un modèle du chenal au 1/100. Ces essais ont démontré que les navires de 120,000 tpl se manœuvraient au moins aussi bien que ceux de 60,000 tpl, mais que lorsqu'ils dépassaient un navire plus petit, ce dernier devenait impossible à contrôler. Ce résultat sera pris en considération dans les règlements de circulation pour le nouveau chenal.

Conclusion

Dans cet article, on s'est attaché à donner une idée de l'ampleur du développement du chenal maritime du Saint-Laurent et à situer son importance et son rôle actuels. Les exemples décrivent des travaux d'envergure qui constituaient la phase finale d'un programme devant porter le gabarit minimal du chenal à 10.7 × 243.8 m entre Montréal et Québec et à 12.5 × 304.8 m en aval de Québec. Ces exemples illustrent également l'importance des études entreprises pour évaluer et minimiser les conséquences de tels travaux.

Au stade actuel, le chenal maritime a atteint un palier dans son développement. Au cours des quelques années à venir, tout au moins, les travaux de dragage sur le Saint-Laurent devraient se limiter à des travaux d'entretien et d'amélioration locale. Les études viseront surtout à permettre une utilisation optimale des profondeurs existantes par une meilleure analyse et prédiction des niveaux d'eau et une meilleure connaissance des fonds; elles viseront aussi à réduire ou éliminer les dragages d'entretien en quelques endroits critiques du chenal et à résoudre les problèmes de navigation que pourraient rencontrer les navires de plus en plus gros et rapides qui empruntent le chenal maritime du Saint-Laurent. ■

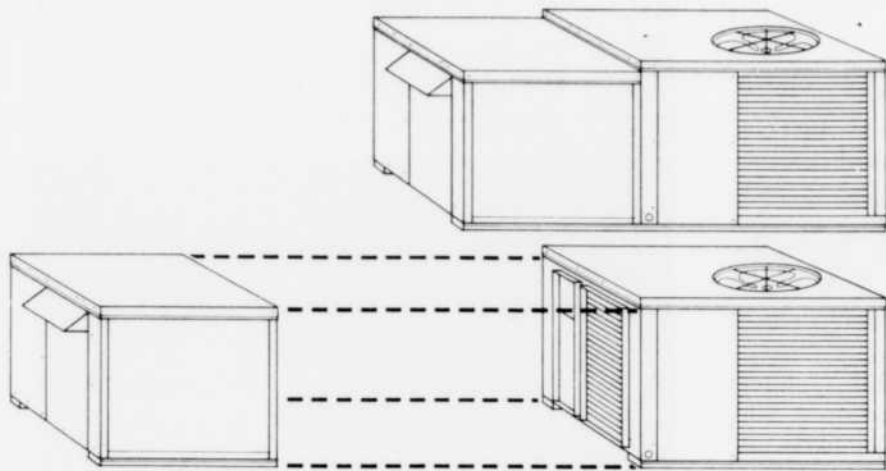


Photo 4 — Approfondissement de la Traverse du Nord.

NOTES

1. tpl = tonnes de port en lourd. Le port en lourd est égal au poids des marchandises embarquées, des approvisionnements et de l'équipage lorsque le navire est dans la ligne de flottaison normale.
2. 1 dm (10 cm) de tirant d'eau supplémentaire représente environ 500 tonnes par voyage pour les plus gros navires remontant à Montréal.
3. Vers 1930, les ingénieurs se préoccupaient déjà de minimiser l'effet des dragages sur les niveaux d'eau. C'est à cette époque que furent construits les seuils barrant 5 bras secondaires dans les îles de Sorel dans le but de remonter les niveaux d'étiage jusqu'à Montréal.
4. S'il est établi que la navigation commerciale ou des travaux du gouvernement fédéral sont responsables de l'érosion des berges, le ministère des Travaux publics finance en totalité ou en partie les ouvrages de protection nécessaires.
5. Lorsqu'un navire passe trop près d'un talus, il est en quelque sorte aspiré vers le talus et devient incontrôlable.
6. Ce chiffre est très faible comparé à tous les estuaires. Par exemple, le port autonome de Bordeaux, France, drague 1 million de m³ par an pour maintenir 13.5 m dans la passe de l'ouest, longue de 4 km, qui commande l'entrée de la Gironde. Le trafic maritime du port de Bordeaux est de moins de 25 millions de tonnes par an.
7. L'envasement est le plus fort lorsque la teneur en sel est d'environ 0.5 p. 100, ce qui était la teneur observée à marée haute dans la zone de remplissage en amont et à marée basse dans la zone en aval.
8. Le rejet à terre ou sur les hauts-fonds a dû être écarté en raison du coût des digues et d'autres contraintes, telles que la protection du site et des oies blanches.
9. Dans la plupart des estuaires, on utilise pour le creusement et l'entretien des chenaux des dragues aspiratrices en marche qui, jusqu'ici, n'ont jamais été employées sur le Saint-Laurent. Elles permettent de nettoyer de grandes surfaces en peu de temps et peuvent transporter rapidement les produits de dragage vers des zones de vidage éloignées. Les volumes sont en général mesurés dans le puits de la drague.

Vous y gagnerez à l'emploi de notre nouvel appareil de toiture



Exigez-le monté sur mesure, en un seul bloc ou détaché, en utilisant le groupe principal avec une chambre d'air existante.

Vous n'avez qu'à choisir comment vous désirez utiliser le nouvel appareil de toiture Carrier pour la climatisation (et le chauffage). Il vous sera fourni entièrement monté en usine, d'une capacité allant de 5½ à 7½ tonnes.

Sa grande souplesse vous permet d'en tirer tout le rendement dont vous avez besoin; vous n'avez donc pas à commander un appareil plus puissant qu'il n'est nécessaire et vous épargnez aussi sur les frais de mise en place.

De plus, ces nouveaux modèles comprennent un tout nouveau

compresseur durable, le meilleur parmi ceux des appareils Carrier de même capacité. Vos clients feront moins de griefs et réaliseront davantage d'économies.

Voici la preuve de sa supériorité.

Le degré d'efficacité de ces modèles de Carrier dépasse déjà les normes que l'on prévoit pour l'industrie en 1980.

Nous avons pour but non seulement de répondre aux normes rigoureuses que l'on prévoit au Canada mais encore de les devancer et même les dépasser.

Pour un nouveau bâtiment, une allonge ou une transformation, exigez le nouvel appareil de toiture de Carrier et choisissez le mode d'installation. Voyez-le chez votre distributeur/entrepreneur Carrier. Vous en verrez le besoin.



MODÈLE MATHÉMATIQUE RELIÉ À L'ÉTUDE DES NIVEAUX D'EAU ET DU CONTRÔLE DES CRUES DU SAINT-LAURENT

par Claude Triquet, M.Sc., ing., et
André Carpentier, M.Sc., ing.*

1. Introduction

L'utilisation du modèle mathématique du Saint-Laurent^{1,2}, telle que présentée ici, se situe à l'intérieur d'une étude générale de régularisation des eaux dans la région de Montréal³. L'objectif global de cette étude est d'analyser tous les moyens susceptibles de réduire les extrêmes de hautes et basses eaux, c'est-à-dire de déterminer les coûts, les bénéfices et les impacts sur l'environnement de ces différents moyens. Ces derniers se résument en trois types principaux : changement des apports venant de l'amont (rivière des Outaouais et lac Ontario), interventions techniques (dragages, endiguements, dérivations, ouvrages de contrôle) et solutions de type administratif (zonage et relocalisations).

Le réseau hydraulique considéré comprend les lacs des Deux-Montagnes et Saint-Louis, les rivières des Mille-Îles et des Prairies, ainsi que le tronçon du fleuve Saint-Laurent entre le lac Saint-Louis et la confluence du fleuve avec les rivières des Mille-Îles et des Prairies. Cependant, compte tenu des types de solutions possibles et de leurs effets éventuels, compte tenu également des problèmes qui se font sentir bien au-delà de la région de Montréal, il a fallu étendre la zone étudiée de part et d'autre de cette région proprement dite.



Figure 1 — Montréal et sa région.

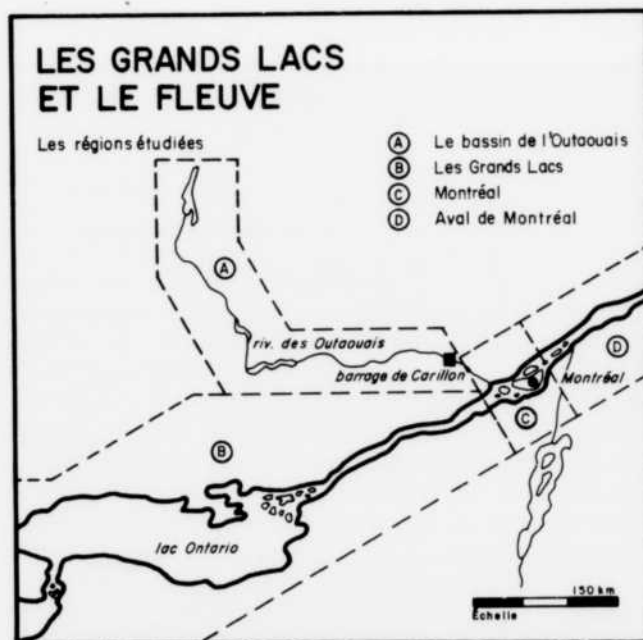


Figure 2 — Les Grands Lacs et le fleuve.

*
Les auteurs :

M. Claude Triquet, directeur, Direction des Eaux intérieures, Région du Québec, Environnement Canada.

M. André Carpentier, Direction de l'Aménagement, ministère des Richesses naturelles du Québec.

L'ensemble de la zone étudiée comprend les Grands Lacs (plus spécifiquement le lac Ontario), la rivière des Outaouais, la région de Montréal et le tronçon du Saint-Laurent entre Montréal et la sortie du lac Saint-Pierre.

2. Le modèle en fonction de l'étude

Comme dans toute étude de régularisation, celle dont il est question ici exige la connaissance de l'état actuel du régime hydraulique dans le secteur étudié et la possibilité d'y évaluer les changements de débits et de niveaux d'eau provoqués par des mesures visant à changer ce régime actuel. On peut, pour ce faire, utiliser soit un modèle physique, soit un modèle mathématique. Le modèle hydrodynamique^{1,2} du Saint-Laurent, élaboré pour le compte du comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, constitue un outil valable pour évaluer les niveaux d'eau dans le Saint-Laurent suivant différentes conditions de débit. Bien que conçu pour une étude de la qualité de l'eau, ce modèle a été transformé, en partie, en étude hydraulique et constitue maintenant une forme sophistiquée de la courbe de remous en régime non permanent.

3. Description sommaire du modèle

La partie hydrodynamique du modèle^{1,2} se base sur les équations de Saint-Venant qui décrivent, par la méthode des différences finies, les modes d'écoulement en régime non permanent et non-uniforme dans les canaux à surface libre et à sections transversales variables. Le réseau hydraulique est subdivisé en un système de tronçons et de nœuds. Ces équations sont modifiées de façon à permettre leur solution par calcul numérique et la procédure tient compte de l'emmagasinement dans les canaux secondaires constitués par les plaines de débordement.

Les équations initiales sont :

Équation de continuité :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l$$

- q_l : débit latéral unitaire
- A : aire transversale d'écoulement
- Q : débit total longitudinal
- t : temps
- x : distance longitudinale

Équation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial}{\partial t} (AU) + \frac{\partial}{\partial x} (QU) = -Ag \left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{U |U|}{C_z^2 R_h} \right)$$

- U : Q/A
- g : accélération due à la gravité
- C_z : coefficient de Chézy
- R_h : rayon hydraulique
- z : cote d'élévation du niveau d'eau

Après transformation, ces équations deviennent :

Équation de continuité :

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l$$

B = largeur du canal en surface

Équation de quantité de mouvement

Pour un canal non prismatique, la représentation de la dérivée de l'aire peut s'exprimer :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} A(x, z(x, t)) &= \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_{z = \text{constante}} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial x} \\ &= \frac{\partial A^z}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial x} \end{aligned}$$

où $\frac{\partial A^z}{\partial x}$ est défini comme $= \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_{z = \text{constante}}$

On obtient donc :

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + 2U \frac{\partial Q}{\partial x} &= -Ag \left[(1 - F^2) \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{F^2}{B} \frac{\partial A^z}{\partial x} \right. \\ &\quad \left. + \frac{U |U|}{C_z^2 R_h} + \frac{d_c}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \right] \end{aligned}$$

F : U/c

c : $\sqrt{g \frac{A}{B}}$: vitesse de l'onde

d_c : profondeur du centre de masse de la section transversale

ρ : densité de masse d'un fluide

4. Utilisation du modèle dans l'étude de régularisation

Pour les fins de l'étude, le modèle est d'abord utilisé dans la région de Montréal proprement dite. Le réseau hydraulique de cette région est complexe, tel qu'on peut le constater sur le schéma présenté à la figure 3.

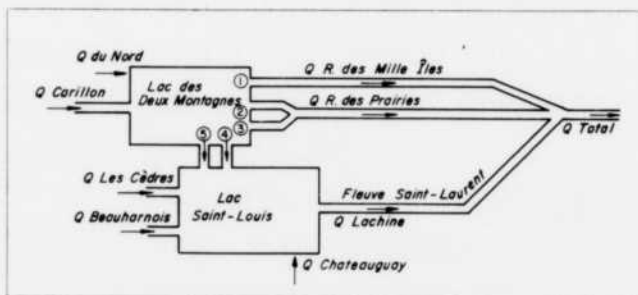


Figure 3 — Schématisation de la région de Montréal.

Les débits d'entrée proviennent principalement des apports de l'Outaouais (Q Carillon), des Grands Lacs (Q Les Cèdres et Q Beauharnois) et de deux tributaires relativement importants (Q du Nord et Q Châteauguay). En première approximation, les apports des autres affluents intermédiaires sont considérés comme négligeables. Les débits de l'Outaouais se répartissent d'une part, dans les rivières des Prairies et des Mille-Îles via trois des cinq exutoires du lac des Deux-Montagnes et d'autre part, dans le lac Saint-Louis via les deux autres exutoires. Quant aux débits du lac On-

tario (Q Beauharnois et Q Les Cèdres), augmentés d'un certain pourcentage des débits de l'Outaouais, ils se déversent dans le fleuve via le lac Saint-Louis. La répartition en pourcentage des débits dans les différents exutoires varie suivant la valeur des débits d'entrée. De plus, la débitance des deux exutoires reliant les deux lacs peut varier suivant la différence de niveau d'eau entre ces derniers, c'est-à-dire suivant les valeurs relatives des débits de l'Outaouais et du lac Ontario. Cette complexité rend donc nécessaire l'utilisation d'un modèle afin de déterminer dans un temps raisonnable les répartitions de niveaux et de débits dans la région suivant différentes conditions de débits d'entrée.

Les relations niveau-débit (courbe de remous) pour les rivières des Prairies et des Mille-Îles sont déjà connues, ayant été établies auparavant au moyen de la méthode d'itération classique^{5,6}. En outre, dans une première étape, la portion du Saint-Laurent comprise dans la zone étudiée a été exclue. Il reste, pour le modèle, la partie montrée à la figure 4, qui peut être représentée par un réseau de tronçons et de nœuds basé sur les conditions topographiques locales, à savoir les singularités qui provoquent les changements de régime, comme par exemple : les changements marqués de pente, la présence de chenaux secondaires et d'îles, etc.

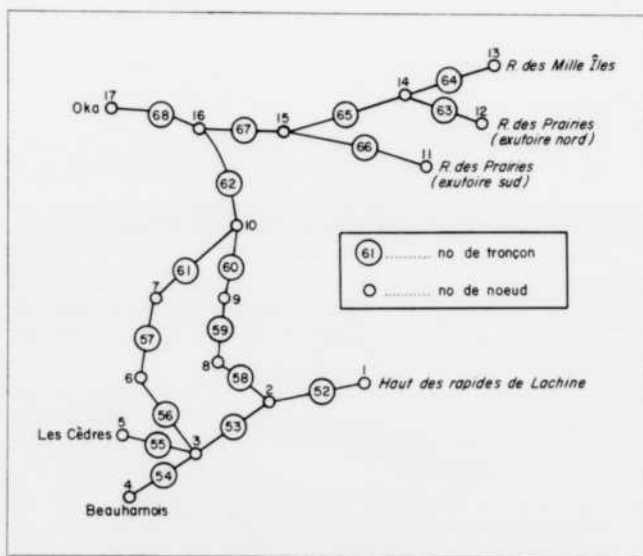


Figure 4 — Région de Montréal : représentation en tronçons et en nœuds.

Ce premier réseau couvre les deux lacs et les cinq exutoires du lac des Deux-Montagnes. Comme les calculs hydrauliques liés à l'étude se font en régime permanent, on a procédé à l'étalonnage du modèle en régime permanent. Pour cela, une crue récente, comportant les caractéristiques adéquates, a été choisie, soit celle de la fin d'avril 1971 : les débits d'entrée de cette crue ont été stables pour une période de plus de trois jours.

Utilisant ces débits d'entrée et les données de niveaux et débits disponibles dans la région, le modèle

a été calibré en ajustant le coefficient de rugosité (« n » de Manning). Les calculs relatifs à l'étalonnage ont montré que le réseau atteint le régime permanent après environ 35 heures. La simulation hydrodynamique est désormais calculée au temps 48 heures. Les résultats montrent qu'en terme de débits la différence entre la valeur réelle et la valeur calculée demeure toujours inférieure à 3 pour cent, et que les niveaux calculés, comparés aux niveaux réels, sont par ailleurs en-deçà de 0.2 pied.

Les paramètres (coefficients de rugosité) trouvés lors de l'étalonnage du modèle hydrodynamique pour la crue du 23 avril 1971 ont été utilisés pour simuler les crues de 1973 et 1974. Encore là, les résultats concordent bien avec la réalité. Un résumé des résultats de la simulation est présenté dans le tableau 1. Les différences entre les données observées et simulées sont minimales. Les seuls points où la simulation diffère un peu de la réalité (crue de mars 1973) coïncident avec les endroits où des effets de glace sont normalement enregistrés à cette période. Cette partie du travail constitue en fait une validation du modèle pour l'application future à d'autres conditions de crue.

Par la suite, la crue du 21 mai 1974 (au lieu de celle du 23 avril 1971) a été choisie comme base de comparaison pour une première élimination des combinaisons possibles de structures et autres travaux d'aménagement aux exutoires du lac des Deux-Montagnes et du lac Saint-Louis. On sait en effet que des dommages assez élevés le long des rivières des Prairies et des Mille-Îles ont été causés au moment de cette crue. De cette façon, l'efficacité des travaux proposés pour cette région, en vue de contrer les effets de crues, a pu être évaluée sur une base scientifique, tenant compte de plusieurs impératifs.

5. Conclusions

Un certain nombre de difficultés sont reliées à l'obtention des données topographiques, hydrologiques et hydrauliques nécessaires à une bonne utilisation du modèle. À ce niveau, comme le modèle considère, d'une façon différente, l'écoulement principal du fleuve par rapport à l'écoulement sur les berges et dans les baies, qu'il juge comme des zones d'emmagasinement, la distinction de ces différentes aires d'écoulement est souvent complexe à définir. Une fois les aires d'écoulement déterminées, il reste le problème de l'établissement du réseau de tronçons et de nœuds qui n'est pas nécessairement résolu par le fait même. De fait, l'agencement des tronçons, de même que leur longueur, peut influencer la précision du modèle. Des tronçons courts (surtout dans les régions à pente forte) permettent de faire varier plus souvent le coefficient de rugosité, qui est considéré constant pour un tronçon donné. D'autre part, il est à conseiller de posséder des points de contrôle (niveaux, débits) pour chaque tronçon, ce qui n'est pas toujours facile à obtenir. On doit donc tendre vers un juste milieu dans le nombre de tronçons. Un autre problème se présente dû au fait que les relations niveau-débit qui servent comme points

TABLEAU 1
COMPARAISON ENTRE LES CRUES ENREGISTRÉES ET SIMULÉES
PAR LE MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

LOCALITÉ	21 mai 1974		20 mars 1973		23 avril 1971	
	Enregistrée	Simulée	Enregistrée	Simulée	Enregistrée	Simulée
D É B I T (pi³/s)						
Lachine	464,000	455,400	450,000	446,900	449,000	452,000
Chenal Sainte-Anne	82,100	75,100	58,500	54,500	55,000	52,400
Chenal Vaudreuil	73,700	78,400	54,000	53,600	42,500	49,800
Île aux Tourtes	155,000	151,500	100,000	105,500	97,500	100,600
Rivière-des-Prairies	108,100	112,900	94,000	91,200	90,000	89,500
Rivière des Mille-Îles	47,200	45,500	37,000 *	32,500	34,500	31,000
N I V E A U (pieds)						
Pointe-Claire	74.06	73.96	73.93	73.72	74.06	73.76
Chenal Sainte-Anne	79.06	79.03	77.50 *	77.08	77.26	76.91
Chenal Vaudreuil	79.06	79.22	77.50 *	77.22	77.26	77.05

* Effet de glace.

de contrôle sur le fleuve ont été établies à partir de valeurs moyennes, alors que le modèle fournit des valeurs instantanées.

Comme le modèle se base sur les équations de continuité et de quantité de mouvement, il permet de simuler l'effet de changements à l'intérieur du réseau hydraulique aussi bien que l'effet de changements dans les conditions à l'entrée du réseau. Par exemple, on peut évaluer des changements dans les sections transversales, l'addition ou l'enlèvement de barrages, des changements dans l'opération des ouvrages de contrôle, et plusieurs autres applications reliées à l'étude de la qualité d'un cours d'eau.

Présentement, le modèle est opérationnel pour la partie du réseau hydraulique de la région de Montréal comprenant les deux lacs et les exutoires. Son étalonnage se poursuit maintenant pour le tronçon du fleuve allant du Port de Montréal jusqu'à Contrecoeur, soit une longueur d'environ 25 milles. ■

RÉFÉRENCES

1. « *Hydrodynamic simulation model — Study of Saint-Laurent* », Mars 31, 1973, réalisé par Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc., et Carrier, Trottier, Aubin, pour le compte du Comité d'étude sur le Saint-Laurent.
2. « *Modèles mathématiques de simulation (Hydrodynamique, Qualité des Eaux) — Étude du fleuve Saint-Laurent* »,

Mars 1974, réalisé par Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc., et Carrier, Trottier, Aubin, pour le compte du Comité d'étude sur le Saint-Laurent.

3. « *Des printemps débordants* », Claude Triquet, Québec Science, Vol. 14, No 1, Septembre 1975.
4. « *Calibration en crue du modèle hydrodynamique dans la région de Montréal* », André Carpentier et René Boisvert, publication interne du ministère des Richesses naturelles, 1974.
5. « *Rivière des Mille-Îles — Étude des lignes d'eau et des caractéristiques en crue et en étiage* », Marcel Couture, publication interne du ministère des Richesses naturelles, 1974.
6. « *Rivière des Prairies — Études des lignes d'eau et des caractéristiques en crue et en étiage* », René Boisvert, publication interne du ministère des Richesses naturelles, 1973.

LEBLANC, MONTPETIT, De BROUX & ASSOCIÉS

INGÉNIEURS-CONSEILS
6655, CHEMIN CÔTE-DES-NEIGES
MONTRÉAL, QUÉ. H3S 2B4
TÉL. 514-733-8264

AU CANADA, ON CONSTRUIT EN **BETON**

Routes • ponts • échangeurs • murs de soutènement • murets de sûreté



Viaduc tout en béton à Grantham-Ouest, près de Drummondville (Qué.).



La route Don Valley Parkway, à Toronto, est divisée par un muret de sûreté.



Viaduc franchissant la route Queen Elizabeth Way à Toronto.



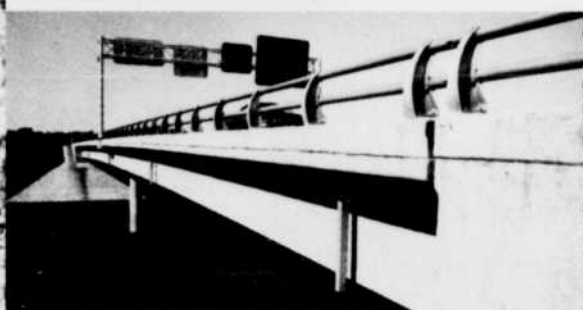
Mur de soutènement constitué d'éléments de béton préfabriqué, près de Trois-Rivières.



Le pont Ogden enjambe la rivière Bow à Calgary.



Muret médian de la voie rapide Côte-de-Liesse à Montréal.



Viaduc de béton près de Shédiac (N.-B.).



Route de déviation à l'ouest de Portage LaPrairie (Man.).



Sol-ciment au Nouveau-Brunswick.



Sol-ciment en Ontario.

Au Canada, pays en pleine maturité économique, on n'ignore pas l'importance d'un réseau routier moderne et sûr. Sur de bonnes routes, les camions peuvent transporter matières premières et produits finis vers toutes les destinations et le public profite de conditions de circulation confortables, sûres et commodes.

Les fonctionnaires et ingénieurs des ponts et chaussées, conscients de la résistance et de la permanence du béton et du sol-ciment, ont recours à ces matériaux pour construire des chaussées aptes à fournir pendant de nombreuses années un service ininterrompu n'entraînant que des frais minimes d'entretien.

La durabilité du béton et l'excellente visibilité qu'il procure en font le matériau idéal pour la réalisation de ponts et de murets de sûreté.

Pour obtenir gratuitement renseignements et assistance technique, il suffit de s'adresser au bureau de Ciments Canada Lafarge le plus proche.



Ciments Canada Lafarge Ltée

606, rue Cathcart, Montréal (Qué.) H3B 1L7

BUREAUX RÉGIONAUX: VANCOUVER • CALGARY • TORONTO • MONTRÉAL • HALIFAX
BUREAUX DE VENTE: VANCOUVER • EDMONTON • CALGARY • SASKATOON • REGINA
WINNIPEG • TORONTO • OTTAWA • MONTRÉAL • QUÉBEC • MONCTON • HALIFAX

**QUEL EST
LE MEILLEUR
MOMENT
DE DÉCOUVRIR
LA GAMME
COMPLÈTE
DE NOS
SERVICES?**



**AVANT
DE
CONSTRUIRE**

APPELEZ-NOUS



**CHARTEL CONSTRUCTION
INC.**

140 rue St-Eustache
St-Eustache Québec
J7R 2K9
Tél.: (514) 627-4707

**POUR LES RÉGIONS
de Ville Laval,
des Laurentides
et de la Mauricie**

Constructeur-innovateur
autorisé

Les systèmes de bâtiment

ARMCO

ARMCO

INGÉNIEUR D'USINE

Habile concepteur \$25,000

Cet important manufacturier de produits destinés à l'industrie de la construction, dont les ventes excèdent les \$20 millions, recherche un jeune ingénieur ambitieux pour implanter et coordonner la modernisation de son usine.

Relevant du directeur de la production, le candidat choisi sera responsable du service de l'ingénierie, qui comprend la conception, la construction et la mise en marche du nouvel équipement et l'entretien de l'équipement actuel.

Les personnes recherchées seront des ingénieurs professionnels ou l'équivalent comptant au moins deux à trois ans d'expérience de l'entretien mécanique d'usine.

Les deux éléments essentiels pour remplir ce poste sont : l'habileté à transposer la conceptualisation au domaine pratique, soit de partir d'un nouveau concept et de l'appliquer à une ligne de production et l'ambition de réussir au sein d'une entreprise dynamique. Le bilinguisme serait un atout. Lieu de travail : Rive-Sud.

Il existe de réelles chances de faire carrière pour l'individu capable de relever ce défi.

**Prière de s'adresser en toute confiance,
référant au numéro C6-414, à :**

**Chambre 911 — 1155 ouest, boul. Dorchester, Montréal
514-879-1444.**

Notre bureau à Toronto :

Chambre 710 — 65 ouest, rue Queen, Toronto 416-364-2306.

STETHEM-GAREAU-MSL

Canada • États-Unis • Afrique du Sud • Allemagne • Angleterre • Argentine • Australie • Belgique
Brésil • Écosse • Espagne • France • Hollande • Irlande • Italie • Suède • Suisse

NOMINATIONS À BELL CANADA



M. Léonce Montambault

M. Claude St-Onge

Bell Canada annonce la nomination de monsieur **Léonce Montambault** au poste de vice-président (zone de Montréal) et de monsieur **Claude St-Onge** au poste de vice-président (zone provinciale du Québec). Les bureaux de monsieur Montambault seront situés à Montréal et ceux de monsieur St-Onge dans la ville de Québec. Monsieur Montambault est entré au service de Bell Canada en 1957 après avoir terminé ses études d'ingénieur civil à l'Université Laval. Il agit présentement à titre d'administrateur des compagnies Télébec Ltée, Téléphone du Nord de Québec Inc. et Téléphone de la Vallée de la Lièvre. Avant sa nomination, monsieur Montambault était vice-président de la zone provinciale du Québec. Monsieur St-Onge, ingénieur diplômé de l'Université McGill, est entré au service de Bell Canada en 1957. Avant sa nomination, monsieur St-Onge agissait à titre de directeur général du réseau (zone de Montréal). Messieurs Montambault et St-Onge ont occupé de nombreux postes et assumé de larges responsabilités dans différentes régions du Québec et à Ottawa.



Même le brouillard gelaït, lorsqu'on brisa l'empoigne de l'arctique sur Bethel impuissant.

Une vague de froid de -40°C enveloppe Bethel, Alaska, d'un épais brouillard glacial, la nuit où la centrale électrique est anéantie par le feu.

Les thermostats cessent de contrôler les chauffages domestiques, les conduits d'eau et égouts gèlent de part en part, et seules une bougie ou une lampe à huile trouent de-ci de-là les 20 longues heures de la nuit arctique.

Mais on ne peut guère se rire de l'hiver en Alaska, et, 48 heures après l'incendie, deux groupes électrogènes Solar® à turbine à gaz, conçus et construits pour de tels cas d'urgence, commencent à fournir à Bethel l'électricité dont elle a un besoin si vital.


Propriété d'Alyeska, la compagnie d'oléoducs, les groupes électrogènes Solar de 900 kW sont rapidement chargés sur avions cargo à Anchorage et Fairbanks à destination de l'agglomération touchée. Ces générateurs, stations du type enfichable, sont montés dans des enceintes étanches et peuvent fonctionner à des températures descendant jusqu'à -60°C .

Deux semaines plus tard, quatre groupes Solar supplémentaires transportés par avion de l'U.S. Air Force rétablissent le courant normal dans l'ensemble du réseau de Bethel, juste à temps pour les fêtes de Noël.

Légers, compacts et construits pour fonctionner sous les conditions les plus sévères où que ce soit sur terre,

les groupes électrogènes portatifs Solar ont également sauvé la saison des limules à Kodiak, remplacé la station de Ketchikan ensevelie par un glissement de terrain, et intervenu pour le réseau d'Anchorage ravagé par le tragique tremblement de terre du Vendredi Saint, en 1964.

Les groupes électrogènes Solar contribuent à résoudre les problèmes d'alimentation d'appoint en Alaska; ils vous aideront certes à prendre les vôtres bien en mains.

Pour plus de détails sur ces groupes d'appoint qui ne vous laisseront jamais de glace, écrivez à Solar, International Harvester Canada, Dept. Y-250, 1 Place du Commerce, Montréal, Québec H3E A2. 

Turbines à Gaz Solar

elles ne vous laisseront jamais de glace

LE

MOIS

OFFRES D'EMPLOI

ÉVÉNEMENTS À VENIR

OFFRES D'EMPLOI

— **DEMIX CONSTRUCTION LTÉE** (M. Roger Desbois, ing., directeur du municipal) 1585, boulevard des Laurentides, Laval, Québec. Tél. : (514) 669-7161 ou 384-1780.

Coordonnateur de travaux municipaux

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie civil et possédant de deux à trois années d'expérience. Sous l'autorité du Directeur du municipal, le candidat choisi devra coordonner et organiser des travaux d'égouts, d'aqueduc et de pavages dans la région de Montréal.

Le salaire sera en relation avec les qualifications du candidat et les responsabilités qui seront attribuées à la fonction.

Les intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae ou de communiquer directement avec M. Roger Desbois à l'un des numéros susmentionnés.

— **PAUL M. GRÉGOIRE ET ASSOCIÉS**, ingénieurs-conseils (M. Paul M. Grégoire, ing.) 3730 est, boulevard Crémazie, suite 101, Montréal, Québec H2A 1B4. Tél. : (514) 727-2839.

Ce bureau, spécialisé en mécanique et électricité des bâtiments, demande un ingénieur diplômé en génie mécanique, possédant un minimum de trois années d'expérience pertinente. Le candidat choisi sera assigné au design, à la surveillance de chantiers et à la coordination de projets. Le bureau est situé à Montréal et les chantiers sont à 75 milles à la ronde.

Les conditions d'emploi sont à discuter; il y a possibilité d'association à court terme.

— **PORT DE MONTRÉAL** (M. Roger Asselin, agent de planification et de formation de la main-d'œuvre) Édifice du Port de Montréal, Cité du Havre, Montréal, Québec H3C 3R5. Tél. : (514) 283-4142.

Cet organisme est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie mécanique, possédant environ trois années d'expérience pour assister le surintendant général adjoint dans la surveillance de l'entretien de la structure et de l'équipement des élévateurs à grain. C'est un poste d'entraînement à de multiples fonctions et responsabilités. Le titulaire pourra être appelé éventuellement à remplacer le surintendant général adjoint.

Le salaire actuel se situe entre \$16,000 et \$19,000.

Les intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Asselin en mentionnant le numéro du poste E-17.

— **SOTRAMONT INC.** (M. Robert Roy, ing.) 13, rue Buteau, Parc Industriel Richelieu, Hull, Québec J8Z 1V4. Tél. : (819) 770-5449.

Gérant de projet

Ce bureau est à la recherche d'un ingénieur, possédant une expérience pertinente dans la construction de bâtiments d'une valeur de \$500,000 à \$10,000,000, pour entrepreneur général bien établi dans la région de Hull.

Rémunération au-dessus de la moyenne.

Les intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae ou de communiquer directement avec M. Roy au numéro susmentionné.

— **BELL ASBESTOS MINES, LTD.** (M. Émile Isabelle, directeur — service du personnel) boîte postale 99, Thetford-les-Mines, Québec G6G 5S4. Tél. : (418) 338-2377.

(1) ingénieur en mécanique

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie mécanique, possédant de trois à cinq années d'expérience en ingénierie d'usine et dans l'utilisation rationnelle de l'équipement. Le candidat bilingue devra posséder un esprit analytique poussé, une grande initiative et un souci marqué pour l'efficacité.

Le candidat choisi travaillera au projet d'aménagement de l'équipement dans une nouvelle bâtisse qui double la superficie de l'usine existante. Il fera des travaux de conception et de disposition (layout design) et aura des responsabilités techniques concernant la gestion du projet.

Le salaire et les conditions de travail sont concurrentiels et correspondent aux qualifications du candidat.

Les intéressés sont priés de transmettre leur curriculum vitae, mentionnant le code no 111 aux soins du directeur du service du personnel.

— **COOPÉRATIVE AGRICOLE DE GRANBY** (M. Reynald Charest, directeur, division du Lait industriel) case postale 219, Granby, Québec J2G 7G2. Tél. : (514) 378-7981.

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie mécanique ou industriel, possédant quelques années d'expérience.

Le candidat choisi aurait à faire une certaine période d'entraînement qui lui permettrait de comprendre les différentes opérations en rapport avec la transformation du lait en différents produits laitiers. Son rôle serait par la suite de collaborer étroitement avec le service du génie, ainsi que le département de la production en vue de réduire les frais de transformation par l'amélioration ou la modification des systèmes de production.

Le salaire et les conditions de travail sont très intéressants.

Les intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Reynald Charest.

Tout ingénieur qui acceptera un des postes offerts dans cette liste est prié d'en avvertir le directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique, Mlle Yolande Gingras, téléphone : (514) 344-4764

ÉVÉNEMENTS À VENIR

CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES À HAUTE TENSION (CIGRE)

Bâtiment des Conférences de l'Unesco
Paris

25 août au 2 septembre 1976

Au cours de ce Congrès, des problèmes techniques des réseaux d'énergie électrique concernant les alternateurs, les transformateurs, les interrupteurs, les liaisons à tension continue, etc., seront examinés et étudiés par des experts du monde entier.

En outre, des visites techniques sont organisées pour les Congressistes dans les réseaux et laboratoires à Paris ou dans la région parisienne.

Après la Session (du 2 au 5 septembre) deux voyages d'études sont organisés, l'un au Bugey et en Suisse, l'autre en Provence comprenant la visite d'installations récentes combinée avec un programme touristique.

NOTE : Pour renseignements additionnels ou pour inscription à la Session, s'adresser à :

M. Gilles G. Sauvé, ing.
Secrétaire-trésorier CNC/CIGRE
a/s Rousseau, Sauvé, Warren Inc.
Édifice Sun Life
1155, rue Metcalfe, suite 840
Montréal (Québec) Canada
Téléphone (514) 878-2621



Desjardins+Sauriol
& Associés

Ingénieurs-conseils

400, Boul. LABELLE, VILLE DE LAVAL H7V 2S7 QUEBEC TEL: 514/681-9221



MESSAGE AUX INTÉRESSÉS
GOLF — TOURNOI ANNUEL

Association des Diplômés de Polytechnique

Club de Golf Lachute
Vendredi, 6 août 1976

Note : les formules d'inscription seront adressées au début de juillet à tous les diplômés en règle avec l'Association.

10^e CONGRÈS ASSOCIATION INTERNATIONALE DES PONTS ET CHARPENTES

Tokyo, Japon

6 au 11 septembre 1976

L'A.I.P.C. tiendra son 10^e Congrès à Tokyo en septembre prochain. Les séances techniques porteront sur les thèmes suivants :

- Conception des structures et choix des solutions
- Optimisation structurale
- Comportement des bâtiments sous l'effet des incendies
- Constructions « off-shore », structures de fondation
- Aciers à haute résistance
- Béton préfabriqué, constructions sous-marines et flottantes
- Édifices élevés, poutres assemblées, chargements pour les ponts.

On présentera un riche éventail d'activités touristiques, culturelles et sociales.

On offre aux participants plusieurs tours post-congrès, au Japon et en Asie. Des taux de voyage en groupe sont disponibles.

C'est une occasion unique pour les ingénieurs canadiens en charpente d'assister à un congrès scientifique remarquable et de visiter le Japon et le Pacifique.

L'invitation est ouverte à tous, qu'ils soient membres ou non de l'association.

Les intéressés peuvent obtenir des renseignements complets sur le Congrès, les voyages et les taux en écrivant à :

M. Yves-M. Giroux, ing.
Président
Groupe Canadien de l'AIPC
Faculté des Sciences et de Génie
UNIVERSITÉ LAVAL
Québec, Québec G1K 7P4
Canada



labo s.m. inc

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES — CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

Sondages — Forages Sols — Béton — Asphalte

ENVIRONNEMENT

76, 12^e Avenue Sud
SHERBROOKE J1G 2V4
TÉL. 819-569-9051

945 Taschereau
LONGUEUIL J4K 2X2
TÉL. 514-527-3881

Tél. : 323-6430



Société
de Gérance
Sogerin Ltée

Études économiques, Estimations,
Contrôles des coûts, Tendances des coûts,
Soumissions de contrôle, Analyses des soumissions,
Échéanciers-programmation, Traitements des données,
Gérance de projets, Réclamations

5642 est, boul. Léger, Montréal-Nord, suite 202, Qué. H1G 1K5

L'assemblée générale annuelle de l'Association des Diplômés de Polytechnique eut lieu le vendredi, 27 février 1976, à l'hôtel Le Reine Elizabeth.

Après l'acceptation des rapports des différents comités et sections, on donna le rapport des scrutateurs nommés pour l'élection 1976, avec les résultats suivants :

Élus par acclamation :

M. Roger Lessard '41, président ; M. Réal Lauzon '50, 1er vice-président ; Mme Michèle Thibodeau-DeGuire '63, 2e vice-présidente ; M. Jean-Claude Nepveu '50, secrétaire-trésorier.

Élus au scrutin :

MM. Gilles Barbeau '59, Camille R. Godin '35, Jean-Guy Masse '66, Yvon-Roma Tassé '35, E. Jacques Tremblay '67.

Élus en 1974 et 1975, les administrateurs, dont le nom suit, demeurent en fonction pour 1976 :

Mme Micheline Bouchard '69, MM. Guy Drouin '72, Laurier Juteau '53, Robert Masse '47, Jean-Paul Vinet '62, Jean-Paul Dionne '51, Pierre Labrecque '55, André Hébert '74, Mme Danielle Zaikoff '67, Mlle Suzanne Lacasse '71.

Représentants des sections :

QUÉBEC — MM. Jacques Dufresne '66, Daniel Handfield '70, Gérard Juneau '65.

OTTAWA-HULL — M. Jean-Charles Hudon '69

Trois présidents demeurent en fonction « ex officio », soit :

MM. Emeric G. Léonard '52, Yvan Hardy '51, René Dufour '54.

Divers :

- a) Représentant de la Corporation de l'École Polytechnique : M. Roger P. Langlois '46
- b) Représentants de :
A.P.E.P. — M. Raynald Loïselle '50
A.E.P. — M. Jacques Pelchat
101e promotion — M. Alain Cérat
- c) Directeur général :
Mlle Yolande Gingras

° *Nomination récente qui complète le mandat de M. Jean-Claude Nepveu.*

ap

association des diplômés de polytechnique

Conseil d'administration 1976



Le président, M. Roger Lessard (à gauche), remet à M. René Dufour, président sortant de charge, le diplôme de gouverneur.



M. Jean-Claude Nepveu, président du Comité d'orientation.



Les membres de l'A.D.P. soulignent le 10e anniversaire de service de Mlle Yolande Gingras, directeur général.



La 50e Promotion (1926) fête son 50e anniversaire.



Vue d'un groupe de participants à l'assemblée générale annuelle.



La 75e Promotion (1951) fête son 25e anniversaire.



**COMPAGNIE NATIONALE
DE FORAGE ET SONDRAGE INC.**
1130 OUEST, RUE SHERBROOKE
MONTRÉAL H3A 2R5
TÉL. : (514) 288-1177

Études géotechniques
Sondages et forages
Contrôle qualitatif des sols, du béton et de l'asphalte
Laboratoires de sols et matériaux
Laboratoire des eaux

Fondée en 1937



mon-ter-val Inc.
société d'expertises

Géotechnique
Géologie
Mécanique des Roches
Contrôle des matériaux
Contrôle de la pollution

1470 rue mazurette, montréal, qué., h4n 1h2, tél. (514) 381-8041



Warnock Hersey Services Professionnels Ltée

Services de consultation
Études géotechniques
Métallurgie et analyses chimiques
Essais physiques • Expertises
Contrôle qualitatif des matériaux

Vancouver Regina Winnipeg Hamilton
Toronto Montréal Saint John Halifax
États-Unis Amérique du Sud Europe Asie

Répertoire des Annonceurs

- 24 Atlas Construction Limitée
24 Beauchemin — Beaton — Lapointe Inc.
8 Bechtel Canada
38 Bell Canada
32 Carrier Air Conditioning (Canada) Ltd.
38 Chartel Construction Inc.
37 Ciments Canada Lafarge Ltée
15 Ciments du St-Laurent
44 Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.
9 Control Data Canada Ltd.
C II Crane Canada Limitée
41 Desjardins + Sauriol & Associés
26 Hydro-Québec
39 International Harvester Co. of Canada, Ltd. (Solar)
25 Jenkins Bros. Limited
C III KeepRite Products Limited
44 Laboratoire d'Inspection et d'Essais Inc.
41 Labo S.M. Inc.
36 Leblanc, Montpetit, DeBroux & Associés
44 Mon-Ter-Val Inc.
8 Quéformat Ltée
41 Société de Gérance Sogerin Ltée
38 Stethem — Gareau MSL
42 Trust Royal
4 Université Laval
16 Voie Maritime du Saint-Laurent
44 Warnock Hersey Services Professionnels Ltée

VOUS DÉMÉNAGEZ ?

Assurez-vous que **L'INGÉNIEUR** vous suivra en retournant l'étiquette d'adressage avec votre nouvelle adresse à :

L'INGÉNIEUR
a/s École Polytechnique de Montréal
Case postale 6079, succursale A
Montréal, Québec, Canada
H3C 3A7



Géotechnique / Contrôle Qualitatif
SONDRAGES ÉTUDES / SOLS-BETON ASPHALTE-ACIER

6775, BOMBARDIER
MONTRÉAL
TÉL. : (514) 326-0130

2660, CHEMIN STE-FOY
C.P. 9220 QUÉBEC
TÉL. : (418) 653-8704

LABORATOIRE D'INSPECTION ET D'ESSAIS INC.

Les nouveaux condenseurs refroidis à l'air Modulaire de KeepRite ont trois avantages.

Entraînement direct

Les condenseurs refroidis à l'air à entraînement direct KeepRite sont construits pour durer. Dans ce nouveau modèle, le ventilateur est monté sur l'arbre du moteur. Ils sont silencieux grâce aux pales à grande surface du ventilateur. Ils sont résistants et sûrs.

Régulateur de vitesse du ventilateur à l'état solide.

En option. Modulaire veut dire : modulation de capacité. Ceci est un nouvel avantage KeepRite en option. Il fournit une performance supérieure au moyen du régulateur de vitesse du ventilateur à l'état solide qui s'ajuste selon les variations de charge et les changements de la température ambiante.



Fabriqué au Canada en fonction des conditions canadiennes

Le Modulaire de KeepRite a été dessiné et construit ici, au Canada. Ce qui veut dire que Modulaire ne sera pas affecté par les difficiles conditions atmosphériques canadiennes comme des températures de 95° l'été et de 25° sous zéro l'hiver.

Pensez à l'entraînement direct du régulateur de vitesse du ventilateur à l'état solide, en option et fabriqué au Canada. Parlez-en à votre représentant KeepRite. Il vous montrera d'autres caractéristiques, y compris les contacteurs magnétiques en option et l'opération intermittente du

ventilateur. Il peut également vous mettre au courant des produits standards de qualité KeepRite tels que les coussinets lubrifiés définitivement, les coffres d'acier galvanisé de fort calibre et les serpentins à tubes de cuivre sans soudure. Appelez-le maintenant ou écrivez à l'un de nos bureaux de vente pour obtenir des brochures détaillées.



KeepRite Products Limited, Brantford, Canada.
Division Unilin, London, Canada.
Bureaux de vente: Halifax, Montréal, Ottawa, Toronto,
Hamilton, London, Winnipeg, Calgary et Vancouver.

ONTARIO

Baie d'Hudson

Baie James

Lac Supérieur

Lac Huron

Lac Michigan

OTTAWA

Lac des Deux-Montagnes

Lac Saint-François

Lac Saint-Laurent

TORONTO

Lac Ontario

DÉTROIT

Lac Érié

R. des Outaouais