



Canada

GEOGRAPHICAL PAPER No. 30

(Étude Géographique N^o 30)

**Déplacement de Blocs par la Glace
le long du Saint-Laurent**

**Movement of Boulders by Ice Along
the St. Lawrence River**

Michel Brochu

**GEOGRAPHICAL BRANCH
Department of Mines and
Technical Surveys, Ottawa**

**DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE
Ministère des Mines et des Relevés
techniques, Ottawa**

**Price: 50 cents
Prix: 50 cents**

GB
131
G4p
no.30
Archives

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une
numérisation par balayage
de la publication originale.



LIBRARY
 SURVEY AND MAPPING BR./
 BIBLIOTHÈQUE
 DIRECTION DES LEVES ET DE LA CARTOGRAPHIE
 EMR CANADA

GB
 131
 G4p
 no. 30
 Arch

GEOGRAPHICAL PAPER No. 30
(Étude Géographique N° 30)

**Déplacement de Blocs par la Glace
 le long du Saint-Laurent**

**Movement of Boulders by Ice Along
 the St. Lawrence River**

Michel Brochu

SMRSS/SLCT
 GB 131 G4p no.30
 Brochu, Michel,
 Déplacement de blocs par la glace I



3 6503 15984706 1

GEOGRAPHICAL BRANCH
Department of Mines and
Technical Surveys, Ottawa

DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE
Ministère des Mines et des Relevés
techniques, Ottawa

Price: 50 cents
Prix: 50 cents

NOTE: Les figures 5 à 11 ont été dessinées par Jean-Claude Olivier à partir de photographies prises par l'auteur.

NOTE: Figures 5 to 11 were drawn by Jean-Claude Olivier from photographs taken by the writer.

ROGER DUHAMEL, F.R.S.C.
Queen's Printer and
Controller of Stationery

ROGER DUHAMEL, m.s.r.c.
Imprimeur de la Reine et
Contrôleur de la Papeterie

OTTAWA, 1961

Price—Prix: 50 cents

No.—N° M67-30

P R E F A C E

La présente étude constitue une édition révisée d'un travail préparé à l'origine pour le Conseil de recherches pour la défense (Ottawa), et publié en 1957 à un tirage très limité par le même organisme.

Cette édition bilingue est publiée par la Direction de la géographie dans le cadre de la campagne de recherches actuellement en cours dans le domaine de la géomorphologie littorale et périglaciaire.

N. L. Nicholson,
Directeur,
Direction de la géographie.

This study is a revised edition of a report originally prepared for the Defence Research Board, Ottawa, and published by that organization for limited distribution in 1957.

The present bilingual edition was prepared for publication in the Geographical Branch as part of its current program of research into coastal and periglacial geomorphology.

N. L. Nicholson,
Director,
Geographical Branch

DÉPLACEMENT DE BLOCS ET D'AUTRES SÉDIMENTS
PAR LA GLACE SUR LES ESTRANS
DU SAINT-LAURENT EN AMONT
DE QUÉBEC

INTRODUCTION

L'existence de blocs et d'alignements de blocs sur les estrans ou zones de balancement des marées des deux rives du Saint-Laurent et surtout à la limite inférieure de ceux-ci est connue depuis longtemps; les cartes hydrographiques en font mention bien que ce phénomène n'y soit pas cartographié avec précision.

Quelques auteurs ont reconnu à la glace un rôle primordial dans le transport de ces blocs; cependant la description complète et la genèse de la mise en place de ces blocs par alignement simple, double ou triple, selon les endroits, toujours dans la zone de basse mer, n'avaient pas encore été expliquées. Dans un article, (Brochu 1954) l'auteur a tenté d'élucider ce problème de mise en place des blocs par alignements parallèles au rivage. On peut en résumer le processus de la façon suivante:

- Pendant l'hiver, la glace se soude aux rives et aux embouchures de rivières, où se trouvent des blocs rocheux de toutes dimensions, des galets aux blocs de 2 à 3 pi.³ (0,6 à 0,9 m³); la glace peut donc prendre, par en-dessous, plusieurs des blocs disposés sur les estrans.
- Au printemps, la fonte et les alternances de marées font décoller la glace d'estran et avec les blocs qui y sont soudés et les entraînent à la dérive.
- La progression de la fonte des glaces flottantes fait que celles-ci abandonnent une partie des blocs pris en charge sur les estrans au hasard de l'échouement de ces glaces.
- Aux marées suivantes, les glaces agissant comme de puissants bulldozers peuvent repousser les blocs abandonnés sur les estrans, mais, suivant la loi de la gravité, ces déplacements se produisent surtout en direction de la partie inférieure de l'estran.
- La limite inférieure de ces mouvements est donc logiquement celle des divers niveaux de marées basses: marées de morte eau et marée de vive eau. En effet, au delà de cette zone limite, la glace ne peut plus agir comme bélier sur le fond parce que la profondeur de l'eau devient trop forte et force la glace à flotter au-dessus des blocs. La meilleure preuve de l'efficacité de cette

DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE

action de poussée par la glace est que la grande majorité des blocs finit par être concentrée, à plus ou moins longue échéance, à la limite inférieure de la zone de balancement des marées, alors que quelques blocs seulement subsistent à la partie supérieure des estrans étudiés.

Ceci établi, il convenait de procéder à une série d'observations détaillées dans certaines zones déterminées afin d'obtenir des données plus précises sur la fréquence annuelle du déplacement des blocs et des apports nouveaux (blocs et autres types de sédiments) par les glaces de dérive.

MÉTHODES: 1. LEVÉ SUR LE TERRAIN

Les méthodes d'observation et de reconnaissance de terrain employées dans cette étude des estrans de la région de Cap-Rouge - Saint-Augustin sont les suivantes:

Automne 1955. Cinq séries de blocs situées à la limite inférieure de la mer basse ont été marquées à la peinture par un trait perpendiculaire au rivage; quand cela a été possible, les traits ont été prolongés en ligne droite de bloc en bloc de façon à ce que des groupes de trois, quatre ou cinq blocs soient recoupés par un trait de peinture, rectiligne. Cette disposition constante des traits a eu pour but de faciliter le repérage non seulement des déplacements au loin, mais aussi des déplacements par rotation, ou par bascule sur place. Pour faciliter la reconnaissance des blocs marqués, il est utile d'adjoindre un numéro au trait porté sur chacun. On a utilisé une peinture marron ordinaire qui, au cours de l'hiver suivant a été en bonne partie arrachée par la glace ou s'est écaillée sous l'effet de la température.* Les caractéristiques suivantes sur les blocs ont été notées: disposition sur l'estran, dimensions, nature pétrographique et forme des blocs et nature du substratum rocheux. Un croquis détaillé des séries de blocs ainsi marqués a été utile pour repérer de façon correcte les déplacements et les apports nouveaux par les glaces qui surviennent chaque printemps. Des photographies marquées d'une échelle ont été prises, d'une part, à l'automne pour illustrer l'aspect et la dimension des blocs marqués à la peinture, et d'autre part, au printemps, afin de montrer l'apport de nouveaux éléments apportés par la glace de même que l'apparence de celle-ci.

Comme l'étale de basse mer est de courte durée, il est souhaitable que les opérations peinture, croquis, et photographie soient effectuées de façon concomittante par deux personnes se partageant le tra-

*Au printemps 1956, un émail d'aluminium a été utilisé, il a tenu beaucoup mieux que le premier type de peinture, et il était encore visible au printemps 1957, mais au printemps 1958 il était pratiquement disparu. Il est donc recommandable, même lorsque l'on utilise l'émail le plus tenace, de recommencer à marquer les blocs tous les deux ans, en raison de l'abrasion de la glace.

DÉPLACEMENT DE BLOCS PAR LA GLACE

vall.

Hiver 1956. Il n'y a, au cours de l'hiver, aucune observation à effectuer sur les estrans du Saint-Laurent au sujet du problème qui nous intéresse parce que ceux-ci sont complètement recouverts d'une couche de 4 à 4,5 pi. (1,2 à 1,35 m) de glace.

Printemps 1956. Les observations du printemps ont débuté au moment où les glaces d'estran ont commencé à se disloquer. Il est en effet essentiel d'effectuer les premières observations de printemps au moment où il y a encore de la glace d'estran parce que c'est durant cette période, qui dure de deux à trois semaines, que surviennent et sont notés tous les changements (par transport ou sédimentation) dus à l'action de la glace.

2. LEVÉ AERIEN

Comme les techniques d'observation précédentes ne s'appliquent qu'à des zones restreintes et qu'il convenait d'obtenir une vue d'ensemble du problème, le meilleur moyen s'est avéré une cartographie effectuée par survol à mer basse et à faible altitude 300 à 600 pi. (100 à 200 m) au-dessus des estrans des deux rives du Saint-Laurent: l'une étant observée à l'aller, l'autre au retour. Ce relevé aérien d'une longueur de 25 milles environ (37 km) a été effectué entre le pont de Québec et Cap-Santé (rive nord) et la pointe Platon (rive sud), au mois de mai 1956. Les phénomènes concernant la zone de balancement des marées ont été, en cours de vol, portés sur les cartes hydrographiques nos 1333 et 1334, au 1:36,000^e (Figures 1, 2, 3, 4). Il n'a pas été possible de prendre des photographies du haut des airs; et il n'existe malheureusement pas de photographies aériennes prises à marée basse.

OBSERVATIONS: 1. LE CADRE PHYSIQUE

L'estran

Dans la région de Cap-Rouge et de St-Augustin où ont été faites nos observations de base, l'estran présente deux zones bien définies: une zone supérieure et moyenne, et une zone inférieure (Figure 1).

La zone supérieure et moyenne: Elle est caractérisée par la rareté de blocs allogènes. La partie supérieure, large de 100 à 500 pi. (30 à 150 m), est recouverte de sable et de galets; il y a souvent de la boue au fond des baies. La partie moyenne, large de 200 à 1000 pi. (60 à 300 m), est caractérisée par des affleurements rocheux (schistes et quartzites); cette dernière roche donne même lieu à des saillies de 3 à 10 pi. (1 à 3 m) au-dessus des schistes. On peut observer quelques blocs sur la roche en place, mais

ceux-ci s'observent plus fréquemment sur un substratum de sédiments meubles.

La zone inférieure: Elle est caractérisée par un alignement rocheux généralement simple, qui parfois se dédouble comme au droit de la région de Cap-Rouge; les roches sont en concentration très dense au sein de chaque alignement, surtout à la limite extérieure de l'estran. Vers l'intérieur de l'estran, la concentration diminue; à la bordure interne de cette zone de blocs alignés, on peut observer à Cap-Rouge un ou deux alignements secondaires larges de un ou deux blocs formant transition avec la zone supérieure. La largeur de cette zone est de 100 à 150 pi. (30 à 45 m); lorsque l'alignement de blocs est simple, elle peut atteindre 500 pi. (150 m); lorsque la chaîne est double les deux alignements peuvent être séparés par une bande de 100 à 200 pi. (30 à 60 m) à l'intérieur de laquelle il y a un substratum rocheux ou sableux et où sont dispersés quelques blocs en ordre assez lâche (Figure 5).

Les blocs et leurs caractéristiques d'ensemble

Disposition: Chaque alignement de blocs est constitué vers la marge intérieure de l'estran de courtes chaînes secondaires, larges d'un, deux ou trois blocs. Vers sa marge extérieure, l'alignement est constitué de blocs disposés pêle-mêle, comme au hasard. Au sein de chaque alignement les blocs les plus gros de même que leur concentration maximum se trouvent à la marge extérieure. La densité et la dimension des blocs diminuent de la marge extérieure vers la marge intérieure des alignements, où des groupes de blocs peuvent alterner avec des espaces recouverts de galets ou de sable. Cependant, en raison des limites assez définies de la poussée de la glace, expliquées plus haut, la marge intérieure vers l'estran tout spécialement la marge extérieure des alignements apparaissent comme très nettement marquées sur le terrain.

Dimensions: La dimension moyenne des blocs se situe entre 2 et 4 pi.³ (0,6 à 1,2 m³) à l'extrémité inférieure de la zone de marée basse. Quelques blocs ont de 5 à 6 pi.³ (1,5 à 1,8 m³).

Forme: La plupart des blocs ont une forme arrondie ou sub-arrondie. Les formes nettement anguleuses sont rares (Figure 6).

Nature pétrographique: La plupart des blocs observés sont de nature cristalline: granite, granulites, granodiorite. Il est souvent difficile de faire cette détermination de façon précise à cause d'une patine grise qui couvre tous les blocs; en outre, l'absence d'angle saillant empêche le plus souvent d'obtenir un échantillon au marteau. A ces roches cristallines qui constituent 90 p. 100 des blocs, il faut ajouter 8 à 9 p. 100 de schistes métamorphiques et de quartzites détachés des affleurements des estrans mêmes, et

DÉPLACEMENT DE BLOCS PAR LA GLACE

1 à 2 p. 100 de calcaires provenant de formations s'étendant à une dizaine de milles en amont (16 km) sur la rive nord. Le matériel des alignements de blocs est 90 p. 100 allogène par rapport au substratum rocheux des estrans.

Substratum: Les alignements de blocs de la zone inférieure de marée basse reposent sur un fond d'argile, de sable et de petits galets en majorité schisteux.

Levé aérien des estrans

Les figures 1, 2, 3 et 4 illustrant cette étude confirment le caractère général des observations effectuées sur le terrain dans le secteur limité décrit page 3 et 4.

La zone supérieure et moyenne: Les estrans des rives sud et nord du Saint-Laurent sont dénués de blocs rocheux quand la roche en place affleure sur les estrans et, même lorsqu'il y a un fond de sable ou d'argile, les blocs sont extrêmement rares. Il y a cependant une exception, sur la rive nord en amont de St-Augustin, où la partie supérieure de l'estran est parsemé de blocs qui proviennent d'un talus sis sur la rive, et constitué par ce qui semble être un alignement fossile de blocaux. Les îlets Dombourg sont compris dans cette zone et sont eux-mêmes constitués d'un amoncellement de blocaux. A quelques endroits, on peut observer sur fonds sableux quelques blocs et, de loin en loin, mais plus rarement, des groupes de deux ou trois de ceux-ci.

La zone inférieure: Sauf quelques exceptions, sur la rive sud entre St-Nicolas et Ste-Croix, l'estran est bordé à la limite de basse mer par un alignement simple et continu. Là où les estrans sont larges comme au droit de certaines baies de la rive nord surtout, on observe un double alignement: dans la zone de Cap-Rouge et de St-Augustin, entre l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier à l'E, et Cap-Santé à l'W sur la rive nord; à l'E de la pointe St-Nicolas et de la pointe à Basile, sur la rive sud. Entre Neuville et les Ecureuils où la largeur moyenne des estrans est la plus importante de la région, soit environ 4,000 pi. (1,300 m), l'alignement est triple.

Il y a cependant des différences marquées entre les deux rives du Saint-Laurent. Sur la rive nord, les alignements sont continus, plus larges et beaucoup mieux fournis en blocaux. Sur la rive sud, au contraire, ces alignements deviennent la plupart du temps une simple rangée, large d'un bloc ou deux seulement. A certains endroits, comme immédiatement à l'W de St-Antoine et de Ste-Croix, il y a même complète solution de continuité dans les alignements de blocs. Par ailleurs, les alignements doubles sont essentiellement localisés sur la rive nord et l'on ne trouve d'alignement triple que sur la rive nord.

 DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE

Il appert qu'il y ait deux raisons principales pour expliquer l'inégale répartition des alignements de blocs sur les deux rives.

D'une part, il semble qu'il y ait de plus vastes affleurements de roche en place sur les estrans de la rive sud. Les blocs reposant sur fond dur peuvent ainsi être plus facilement déplacés vers le Saint-Laurent par les mouvements de poussée et de prise en étau de la glace.

D'autre part, comme la majorité des blocs des estrans constitués de matériel morainique sont transportés des Laurentides par les rivières de la rive nord du Saint-Laurent, il est tout à fait normal que les estrans de cette rive soient mieux fournis en blocs que ceux de la rive sud.

Les alignements doubles ou triples de blocs sont un phénomène à part. Ils surviennent comme on l'a noté plus haut, là où les estrans sont très larges et par conséquent à faible inclinaison. Ils semblent correspondre à des niveaux de marées variant entre 3 et 4 pi. (1 à 1,30 m) entre les niveaux moyens de morte eau, et de vive eau, y compris vraisemblablement un alignement pour les niveaux extrêmes de morte eau dans le cas du triple alignement des Écureuils.

Ainsi, là où l'estran a une largeur dépassant 1,500 pi. (460 m), la distance horizontale entre les limites de basse mer de vive eau et de morte eau et des marées moyennes est suffisante pour permettre à plus d'un alignement de blocs de se développer. Ceci ne signifie pas nécessairement que tous les estrans qui excèdent cette largeur ont un double alignement. C'est ainsi que sur la rive sud, même lorsque l'estran est assez large, l'alignement tend, sauf exception, à demeurer unique parce que l'alimentation en blocs est plus réduite.

2. LE RÔLE DES GLACES

État et caractéristiques des glaces

Durée de la période de glace: Dans la région de Québec, le cycle annuel de la glace débute entre la première et la troisième semaine de décembre, pour se terminer entre la première et la troisième semaine d'avril (Brochu 1956, et Brochu et autres 1958). Le Saint-Laurent ne gèle de part en part qu'en amont des Trois-Rivières. En aval de ce point, seule gèle complètement la zone de balancement des marées qui n'est, cependant, complètement prise que vers la fin de décembre. En fait, pendant 10 à 20 jours au début de la saison, la glace formée sur les estrans est trop mince pour résister aux mouvements de la marée et elle est emportée par le courant. Au cours de l'hiver, à moins de hausse marquée de tempéra-

DÉPLACEMENT DE BLOCS PAR LA GLACE

ture au-dessus du point de congélation, la glace d'estran, une fois solidement prise à la fin de décembre, reste en place jusqu'au printemps, à l'exclusion de quelques décollements marginaux.

Vers la fin de mars ou au début d'avril, la glace décolle progressivement par sections du large vers la rive; les fonds de baie demeurent naturellement les plus longtemps pris.

Épaisseur: La glace d'estran peut atteindre au printemps une épaisseur de 4 à 4,5 pi. (1,2 to 1,35 m) mais les amoncellements, se formant par chevauchements et empilements de glaçons les uns sur les autres, peuvent atteindre des dimensions de 10 à 20 pi.³ (3 à 6m³), que l'on peut voir échoués à marée basse. Ces masses de glace ne sont pas exceptionnelles; on peut en déduire l'importance de leur puissance d'érosion et de transport (Figure 7).

Éléments allogènes inclus dans la glace

L'examen des glaces échouées sur les estrans de Cap-Rouge et de St-Augustin, en avril 1956, à montré que beaucoup d'éléments allogènes y étaient inclus.

Blocs rocheux: Comme il est très difficile d'examiner le dessous des blocs de glace, il n'a été possible d'observer qu'une seule roche incluse dans la glace: ce qui n'implique pas que le phénomène soit, pour autant, rare ou exceptionnel (Figure 8).

Sédiments terrigènes: La tranche (épaisseur) de la glace d'estran présente très souvent, soudée vers le bas, une couche de 2 à 10 po. (5 à 25 cm) d'éléments terrigènes: boue ou argile noire, comprenant souvent des débris de plantes et de racines arrachées (Figure 9). On observe quelquefois non seulement une couche terrigène à la limite inférieure de la glace, mais aussi une ou deux autres couches d'épaisseur identique, intercalées à la partie inférieure de la glace: il s'agit, en ce cas, de couches successives qui ont été prélevées à la surface de l'estran au cours de l'hiver, à la faveur des mouvements de la marée et des températures froides qui favorisent ces prises par adhérence.

Déplacement et transport de matériaux meubles

Pendant la période où la glace reste soudée à la rive, il ne semble y avoir aucune action dynamique importante, si ce n'est la prise en étau de blocs, bien que la glace soit soulevée et abaissée deux fois par jour par deux cycles de marées de 15 à 18 pi. (4,5 à 6 m).

On est donc fondé à penser que le rôle de transport de la glace se situera durant les périodes de dérive libre: du début à la fin de décembre, et de la fin mars à la mi-avril surtout. Le rôle de raclage,

 DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE

de poussée et de transport que peut jouer la glace en décembre semble négligeable au regard de celui de la glace du printemps. La raison est que la glace de décembre est trop mince pour pouvoir arracher, soulever ou pousser des blocs de dimensions importantes. Il appert donc que l'action de la glace sur les estrans s'exerce essentiellement, sinon exclusivement, au printemps.

Le rôle de la glace dans l'enlèvement et le déplacement de matériel meuble s'effectue comme suit en fonction des deux zones principales de l'estran:

Zone supérieure et moyenne: Les éléments inclus ou soudés à la surface inférieure de la glace proviennent de la zone supérieure de l'estran, dans les fonds d'anses ou de baies plus particulièrement. Les parties où affleurent des schistes arasés ne fournissent que relativement peu d'éléments aux prises en charge par la glace si ce n'est que quelques fragments gélivés. Pour l'ensemble de cette zone, comme il a été pratiquement impossible de vérifier directement sur le terrain le matériel enlevé à l'estran, le meilleur contrôle s'est avéré d'en juger par les dépôts contenus dans la glace elle-même. Si l'on calcule qu'en gros 3 pi.³ (1 m³) de glace adhérant sur un estran recouvert de dépôts meubles peut prendre en charge 1 à 2 lbs. (0,5 à 1 kg.) de sédiment à l'état sec, on peut inférer que les dizaines de milles² ou de km² de glace reposant sur des estrans à fond terrigène ou sableux du Saint-Laurent représentent plusieurs centaines de tonnes de sédiments enlevés, transportés puis redéposés par la glace, soit sur les estrans eux-mêmes, soit dans le lit du Saint-Laurent. Ainsi, la glace s'avère un très puissant agent d'érosion (arrachement, par adhérence à une surface gelée), de transport au loin (par les courants de flux et de reflux), puis de sédimentation (par délestage dans le lit du Saint-Laurent et par échouement et fonte de la glace sur l'estran).

Zone inférieure: Dans cette zone, caractérisée par des alignements rocheux, les observations du printemps 1956 ont permis de déterminer, dans les deux alignements de Cap-Rouge, que tous les blocs marqués à la peinture à l'automne précédent étaient demeurés en place à la fin de la période de dérive des glaces. Les raisons de cette stabilité semblent être que, d'une part, la proximité des blocs entre eux empêche la glace de les envelopper et de les prendre complètement et que d'autre part, ces blocs reposent sur un fond sableux qui gèle en hiver et auquel ils se trouvent en quelque sorte soudés.

Ainsi, dans la zone des alignements rocheux, les déplacements semblent extrêmement réduits, voisins de 0 p. 100. On peut donc en conclure que ces alignements sont des formes qui sont à un stade de maturité et ne sont pas susceptibles de modifications futures importantes, à l'exception de quelques apports

DÉPLACEMENT DE BLOCS PAR LA GLACE

annuels de blocs.

Apports nouveaux par la glace

Puisqu'il y a enlèvement et transport par la glace, il y a nécessairement sédimentation en d'autres points. La glace étant un phénomène de courte durée, elle est appelée à se dissoudre et à se délester des matériaux qu'elle a pris en charge. Les apports nouveaux notés sur les estrans ne représentent qu'une fraction des sédiments déposés dans le lit même du Saint-Laurent: ceci est démontré par l'observation, faite à bord des bateaux-passeurs entre Québec et Lévis, de nuages de particules d'argile qui se dégagent lorsque l'étrave du navire fracasse les glaces de printemps.

Voici comment se répartissent les apports nouveaux tel qu'observés au printemps 1956.

Sédiments fins et débris végétaux: Des plaques ou des mottes de terre auxquelles sont presque toujours associés des débris de plantes avec leurs racines; leurs dimensions sont de 10 à 20 po. (25 à 50 cm) de longueur ou de diamètre et de 4 à 5 po. (10 à 13 cm) d'épaisseur. La densité de ces mottes de terre observées dans la zone de balancement des marées est d'environ une ou deux par 1,000 pi.² (304 m²). Cette densité relativement faible permet de supposer que la glace dépose en eau profonde une forte proportion, peut-être plus de 75 p. 100 des sédiments fins, arrachés aux estrans. Il n'a malheureusement pas été possible d'identifier la proportion d'argile redéposée le long des rives (Figure 10).

Apports rocheux: Dans la région d'observation de Cap-Rouge, il a été possible de constater la présence d'un nouveau bloc granitique de 3 pi. (1 m) de diamètre, sur la partie supérieure de l'estran où affleure la roche en place, et un autre de 20 po. (50 cm) de diamètre reposant sur fond sableux; de plus, un nouveau bloc calcaire long de 20 po. (50 cm), large de 10 po. (25 cm), épais de 4 po. (10 cm) a été relevé à proximité d'un groupe de roches marquées à la peinture (Figures 5 et 11). Ce bloc provient vraisemblablement d'une formation de calcaire paléozoïque, sise à 10 mi. (16 km) en amont, près de Neuville.

Au printemps 1956, alors qu'il y avait encore de la glace de dérive, il a été possible d'observer sur l'estran de la baie de Cap-Rouge plusieurs sillons aboutissant à un bloc; ces sillons semblent l'indice d'une poussée par la glace. A d'autres endroits, il y avait des cuvettes de 10 à 20 po. de profondeur (25 à 50 cm) où, selon toute probabilité, avait reposé un bloc enlevé par la glace; à d'autres endroits encore, des blocs plus gros, ayant peu bougé, présentent un bourrelet de poussée devant (dans le sens de la poussée de la glace) et, derrière, il y a une dépression en forme de croissant qui était occupée par un bloc; celle-ci est, selon le cas, soit à sec, soit remplie d'eau.

 DIRECTION DE LA GÉOGRAPHIE

Hors de la zone marquée à la peinture, il est impossible de présenter des statistiques plus précises sur le mouvement des blocs par l'action de la glace, mais ce mouvement existe, tel que le donnent à penser les indices présentés plus haut. On est cependant fondé à penser que la densité des nouveaux apports en blocs chaque printemps peut être de 25 à 50 par mi.² (1,6 km²).

Fragments de roche en place: Les fragments gélivés de roche en place de l'estran ont été notés à part. Ils sont facilement reconnaissables du fait de leur angulosité et parce qu'ils ont la même nature pétrographique que la roche en place, sur laquelle on les trouve: schistes ou quartzites, en l'occurrence. Les schistes donnent, en général, des fragments excédant rarement 1 po. (2,5 cm); les quartzites donnent des fragments plus gros pouvant aller jusqu'à 1 pi. (30 cm).

APPLICATIONS PRATIQUES

L'étude préliminaire qui précède implique des considérations pratiques en fonction de l'utilisation possible des estrans, notamment pour fins de débarquement.

Stabilité des blocs alignés ou dispersés

La partie supérieure et moyenne de l'estran paraît être une zone de grande stabilité quant au mouvement des blocs. C'est-à-dire que, d'une année à l'autre, très peu de changements sont susceptibles d'intervenir.

La zone inférieure avec ses alignements de blocs simples, doubles ou même triples présente la stabilité maximum. Il semble y avoir quelques apports nouveaux chaque printemps. Par contre, nos observations tendent à démontrer que les blocs constituant déjà les alignements ne sont pas déplacés par la glace.

Ainsi, dans les zones supérieure et inférieure des estrans de la région étudiée, les déplacements de blocs semblent si rares qu'une bonne cartographie et des photographies aériennes des alignements de blocs, pour peu que les photos soient prises à marée basse, sur les estrans peuvent être considérées comme une représentation pratiquement définitive de l'aspect des estrans.

Sédimentation par la glace dans les ports et les chenaux navigables

Le problème de la sédimentation dans les ports et dans les chenaux navigables du Saint-Laurent est beaucoup plus grave que les changements qui peuvent survenir sur les estrans. Il a été estimé que la glace enlève des estrans et transporte, chaque année, plusieurs tonnes de sédiments; la glace joue donc un

DÉPLACEMENT DE BLOCS PAR LA GLACE

rôle très important dans l'érosion et le transport des dépôts meubles, et ce facteur devrait être considéré dans l'étude des problèmes de sédimentation dans les ports et les chenaux navigables. La région de Québec est tout particulièrement indiquée pour des recherches de ce type.

Comparaison avec l'Arctique

La présente étude a été effectuée dans le but d'obtenir une première estimation concernant l'action de la glace sur les estrans du Saint-Laurent où il y a des blocs dispersés et où des alignements de blocs présentent des phénomènes analogues dans l'Arctique.

Il est bien évident que les conditions dans l'Arctique ne sont pas les mêmes que sur le Saint-Laurent, et que les résultats de cette étude préliminaire n'y sont pas intégralement applicables. L'épaisseur de la glace dans l'Arctique est habituellement plus grande que sur le Saint-Laurent et par conséquent son pouvoir de transport est plus considérable; la concentration des blocs pourra être plus ou moins importante selon la topographie locale des côtes et la nature des roches, et cela sera susceptible d'affecter l'importance du mouvement saisonnier des blocs; par ailleurs, la présence de blocs nouveaux, détachés des falaises et des affleurements rocheux pratiquement dénués de végétation dans ces régions, peut être plus commune.

Il est donc possible que dans plusieurs régions de l'Arctique les changements annuels dus à l'action de la glace dans les blocs alignés ou dispersés soient plus considérables que sur le Saint-Laurent. Il est dès lors souhaitable qu'un relevé analogue soit effectué dans l'Arctique dans des zones et des régions où les conditions lithologiques, marégraphiques et les courants sont nettement différents, afin de vérifier dans quelle mesure les conclusions obtenues le long des rives du Saint-Laurent en amont de Québec sont applicables dans l'Arctique. Les recherches futures dans ce domaine seraient grandement facilitées si des séries de photographies aériennes étaient prises à mer basse, tant dans l'Arctique que dans la vallée du Saint-Laurent.

CONCLUSIONS

On peut retenir de cette étude préliminaire les conclusions qui suivent:

1. La zone supérieure et moyenne des estrans étudiés est à peu près vide de blocs et lorsqu'on les y rencontre, ils sont, dans cette zone, extrêmement mobiles sous l'action de la glace, surtout s'ils reposent sur le substratum rocheux ou sur du sable grossier.

2. La zone inférieure de l'estran est caractérisée par la présence d'alignements de blocs rocheux généralement simples, sur les deux rives du Saint-Laurent, parfois doubles, et même triples sur la rive nord. Au sein de cette zone, le contrôle établi à la peinture, à Cap-Rouge, montre que l'ensemble des blocs est très stable sous l'action de la glace, même si l'on a pu y observer quelques apports de nouveaux blocs rocheux.

3. On est en droit de considérer que la glace arrache, transporte et dépose chaque année des milliers de tonnes de sédiments, argileux et sableux. Une fraction encore non appréciée de ces sédiments est déposées sur l'estran; la plus grande partie est vraisemblablement déposée dans le lit du Saint-Laurent. On peut en inférer que la glace joue un rôle important dans le colmatage des ports et des chenaux navigables.

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, l'Auteur tient à exprimer sa plus entière gratitude à Messieurs Jean et François Hamel pour leur collaboration dévouée à nos observations de terrain.

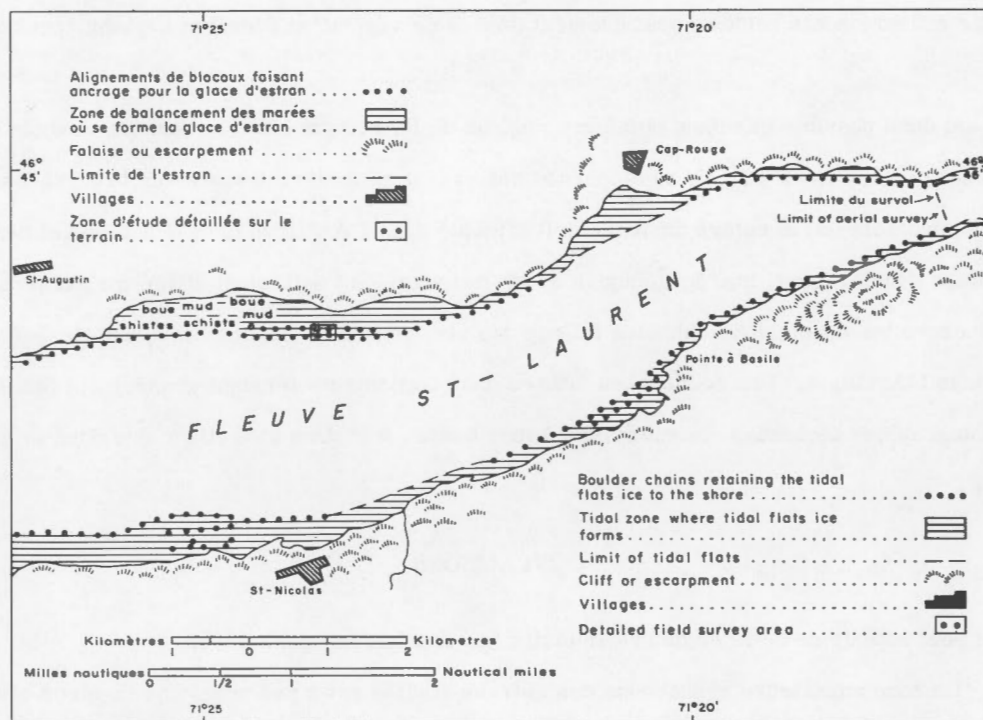


Figure 1. Alignements de blocs sur les estrans du Saint-Laurent entre St-Augustin-Cap-Rouge et le pont de Québec.

Alignment of boulders on the tidal flats of the St. Lawrence River between St. Augustin-Cap-Rouge and the Quebec bridge.

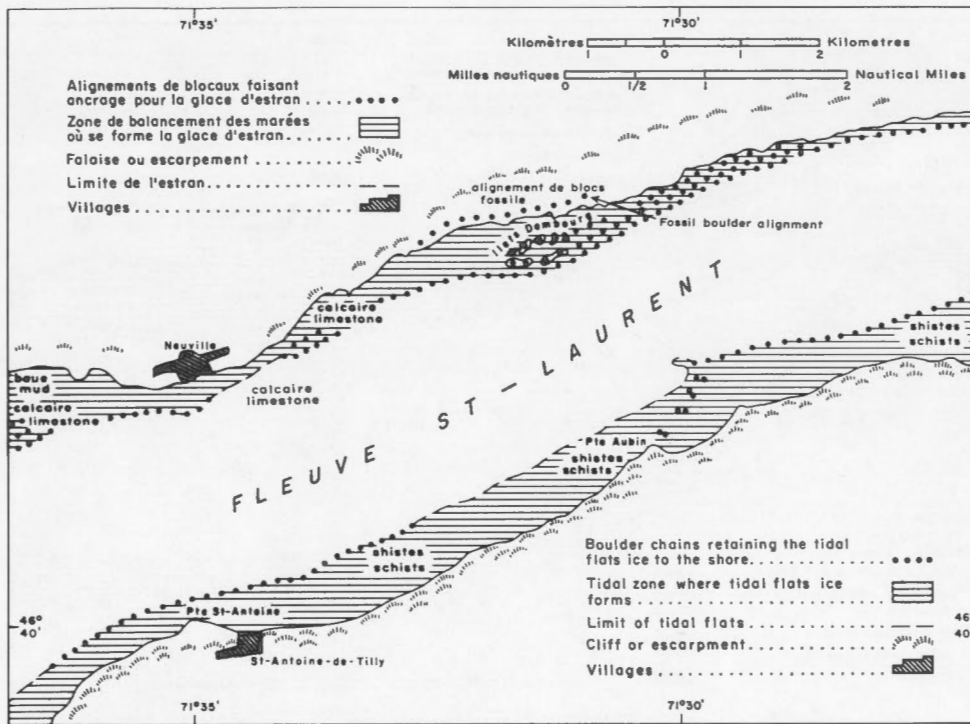


Figure 2. Alignements de blocs sur les estrans du Saint-Laurent dans les régions de Neuville (rive nord) et de St-Antoine-de-Tilly (rive sud).

Alignment of boulders on the tidal flats of the St. Lawrence River between Neuville (north shore) and St. Antoine-de-Tilly (south shore).

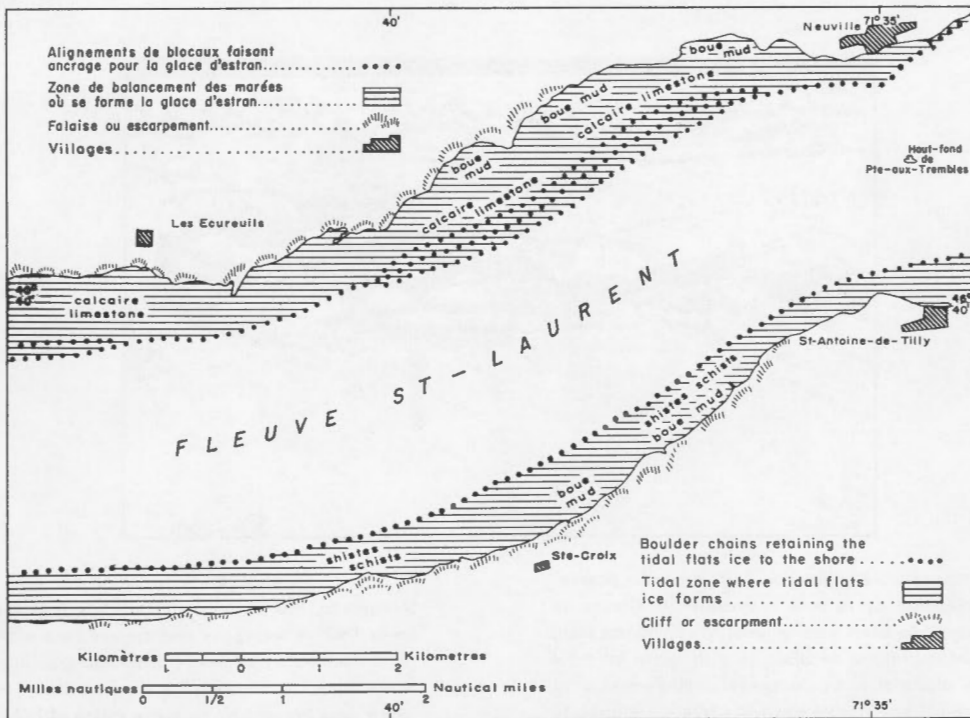


Figure 3. Alignements de blocs sur les estrans du Saint-Laurent entre Les Écurails et Neuville.

Alignment of boulders on the tidal flats of the St. Lawrence River between Les Ecurails and Neuville.

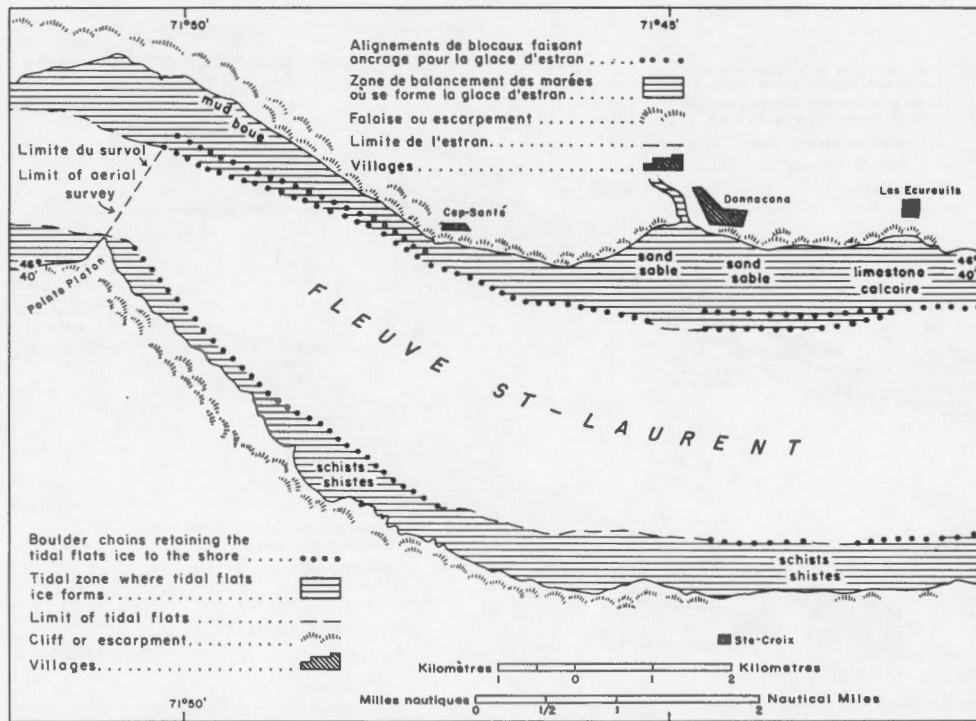


Figure 4. Alignements de blocs sur les estrans du Saint-Laurent entre Pointe Platon et Les Écureuils.

Alignment of boulders on the tidal flats of the St. Lawrence River between Pointe Platon and Les Écureuils.



Figure 5. Cap-Rouge, zone inférieure de l'estran. Au premier plan, limite inférieure de la zone centrale et supérieure de l'estran; l'absence de blocs y est à noter. Au deuxième plan, sur l'alignement secondaire de blocs, on y distingue les traits à la peinture d'aluminium tracés perpendiculairement à la rive. Le bloc de calcaire signalé par une flèche a été apporté par la glace au printemps 1956. A l'arrière-plan, le principal alignement de blocs à la limite extrême de basse mer; il est plus large et plus fourni que l'alignement précité.

Cap-Rouge, lower zone of the tidal flats. In the foreground, the absence of boulders is noticeable on the lower limit of the upper and central zone of the tidal flats. On the secondary alignment of boulders, paint marks parallel to the shore can be seen. The limestone slab, indicated by an arrow, was brought by ice in the spring of 1956. In the background, the principal boulder chain lies at extreme low-tide limit; this chain is wider and has more boulders than the secondary line.

Figure 6. Cap-Rouge, zone inférieure de l'estran. Les blocs, pour la plupart d'origine cristalline, sont généralement de forme ronde ou arrondie. Les fragments de moindre dimension sont plus anguleux.

Cap-Rouge, lower part of the tidal flats. These boulders of crystalline origin have, in general, a rounded or subangular form. The smaller fragments are more angular.



Figure 7. Cap-Rouge. Glace d'estran de 9 à 12 pi. (2,75 à 3,35m) d'épaisseur échouée au milieu de l'estran. L'épaisseur anormale de cette glace est attribuable au chevauchement des glaçons sur la glace d'estran au cours de l'hiver précédent. On remarquera l'absence de blocs dans cette zone de l'estran: le sol est constitué, à cet endroit, de schistes arasés.

Cap-Rouge. Tidal flats ice, 9 to 12 feet (2.75 to 3.35 m) thick, stranded in the central part of the tidal flat. This rather unusual thickness seems to be due to overlapping of floes during the preceding winter. The absence of boulders in this part of the tidal flat is to be noted; the ground consists of a bedrock of eroded schist.

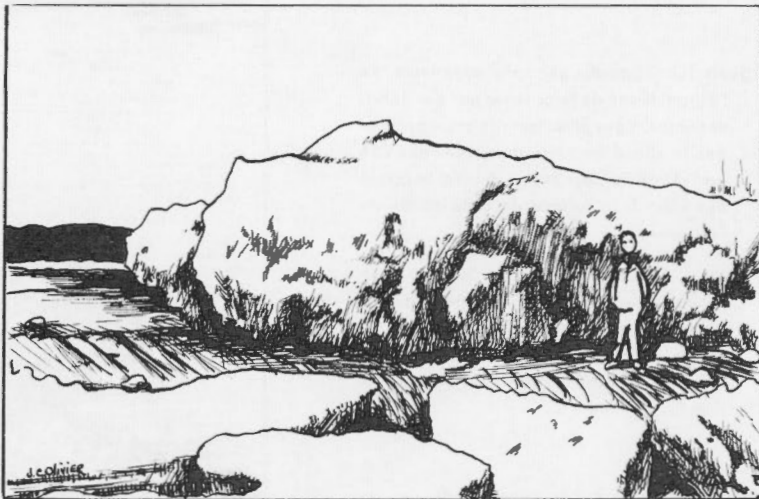


Figure 8. Cap-Rouge. Bloc granitique au sein de la glace entouré de débris terrigènes pris à l'estran sous-jacent.

Cap-Rouge. Tidal flats ice showing a granite boulder and earth debris taken from the shore beneath.

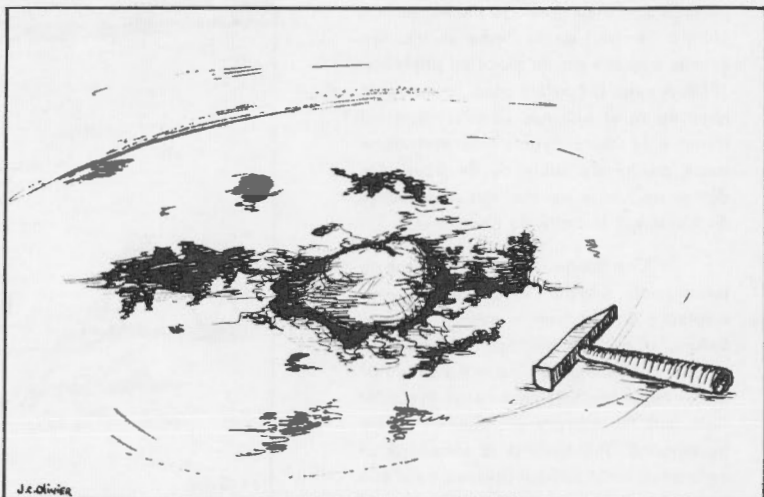


Figure 9. Cap-Rouge. Glaçon fondant sur l'estran (à marée haute); sa partie inférieure est constituée d'une couche terrigène de 10 po. (25 cm) d'épaisseur. Cet exemple permet d'estimer les quantités considérables de sédiments qui peuvent être enlevés par la glace, lorsque celle-ci recouvre de grands estrans. A l'arrière-plan, glaces d'estrans échouées.

Cap-Rouge. A melting floe on the tidal flats (high tide). The lower part of the floe is composed of a 10-in. (25-cm) terrigenous layer which illustrates the considerable quantity of sediments that may be carried by ice when it covers tidal flats. Tidal flats ice, still landfast, appears in the background.

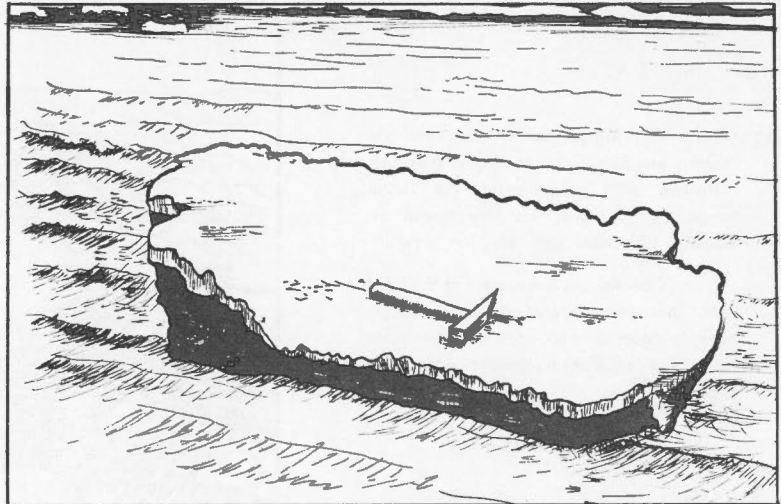


Figure 10. Cap-Rouge, zone supérieure de l'estran. Motte de terre tenue par des débris végétaux, tiges et surtout racines, apportée par la glace au cours du printemps 1956 sur l'estran de Cap-Rouge. A noter la rareté des blocs à la surface de cette partie de l'estran.

Cap-Rouge, upper tidal zone. A mound of sediment held by vegetal debris, stems and roots, brought by ice during the spring of 1956. The scarcity of boulders lying on this part of the tidal flats is to be noted.

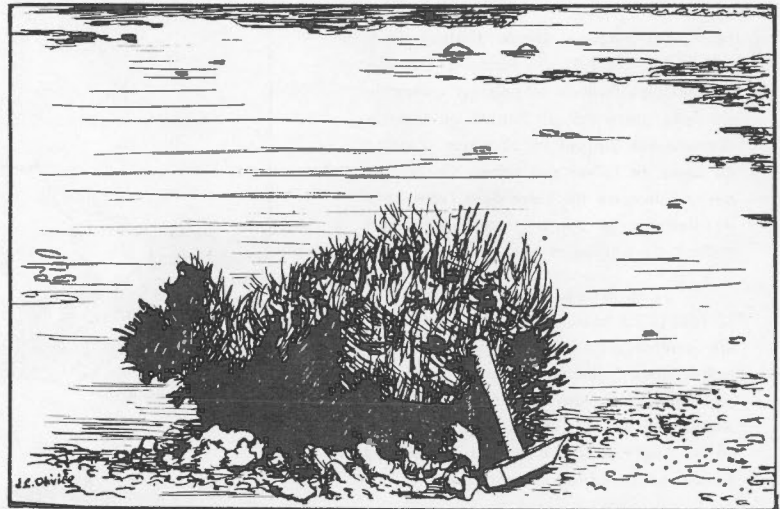
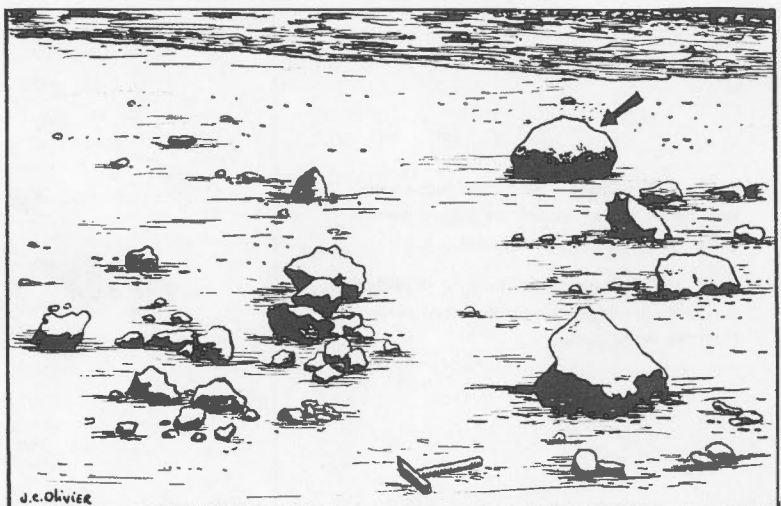


Figure 11. Cap-Rouge, zone supérieure de l'estran. Au premier plan: fragments anguleux de quartzite déplacés par la glace à partir d'un affleurement voisin. Au second plan, à l'endroit de la flèche un bloc de granite apporté par la glace au printemps 1956. A noter à l'arrière-plan, l'estran plat avec de rares blocs. Le substratum est constitué de schistes arasés, recouverts d'une mince couche de sable ou de boue. On devine au loin le premier des alignements de blocs à la limite de basse mer.

Cap-Rouge, upper tidal zone in foreground: angular fragments of rock displaced by ice from a nearby outcrop. Behind, a granite boulder (indicated by arrow) was brought by ice in the spring of 1956. Note the level nature of the tidal flats in the background and the scarcity of boulders in the background. The bedrock is composed of an eroded schist surface covered by a thin layer of sand or mud. In the upper part of the photo the first chain of boulders at low-tide limit is shown.



MOVEMENT OF BOULDERS AND OTHER SEDIMENTS BY ICE
ON THE TIDAL FLATS OF THE ST. LAWRENCE RIVER
ABOVE QUEBEC

INTRODUCTION

The existence of boulders and lines of boulders on tidal flats along both shores of the St. Lawrence River at the limits of low tide has long been known. Their general alignment is also plotted on the Canadian Hydrographic Service charts of this area.

Some authors have recognized that winter ice plays an essential part in the transport of boulders; however, the reason for the arrangement of boulders in single, double, or triple chains along the lower edges of tidal flats has not previously been explained. The writer (Brochu, 1954) attempted to clarify this problem, and summarized the process as follows:

- During the winter, the ice increases in thickness and freezes to the bottom along the shores of the St. Lawrence and the mouths of the tributary rivers where there are pebbles, and blocks up to 2 to 3 cu. ft. in size (0.6 to 0.9 cu. m.). The ice may then grip many of the boulders lying on the shore or in the shallows.
 - In the spring, when the ice is weakened by thawing, tidal action lifts it and breaks it up into floes which move up and down, together with the adhering boulders and other sediments.
 - With the progress of the thaw, these floes lay down at random a part of their boulders and sediment content on the intertidal zone.
 - During the following tides, the ice floes, shoving like a bulldozer, move the boulders abandoned in the intertidal zone towards the lower part of the zone, or low-tide limit.
 - The lower limit of these movements on the tidal flats is logically attributed to the two main levels of spring and neap low tide. Beyond this intertidal zone, the ice can no longer have a bulldozer effect since the increasing depth of water eliminates the shoving action of the ice as it causes the ice to float over the boulders. This downward movement of the boulders across the intertidal zone is confirmed by the fact that almost all the boulders are to be found near the low-water mark, whereas in the middle and upper tidal zones there are almost none.
- As a result of these general observations it became apparent that further studies were necessary

GEOGRAPHICAL BRANCH

to provide more precise data on the annual frequency of the removal and replacement of boulders and other types of sediment by drifting ice.

METHOD: 1. FIELD SURVEY

The following are the essentials of the field survey method employed in a study of tidal flats located in the Cap-Rouge-St-Augustin region.

Autumn 1955. Five series of boulders lying in the lower part of the intertidal zone were marked with a painted line perpendicular to the shoreline, and where possible, these lines were carried from boulder so as to form continuous straight lines over groups of 3, 4 or 5 blocks. This was done to facilitate the analysis not only of movement in any direction, but also of displacement by rotation. A further refinement of this idea would be to number boulders. A reddish house paint was used but during the winter this paint was much scratched by the ice or peeled off by frost action.* The disposition, dimensions, lithology, and form of the boulders were noted, and the nature of the bedrock was also taken into consideration. A detailed sketch made of the series of marked boulders proved useful in recognizing the changes caused by ice during the spring. Photographs were taken in the autumn to illustrate the general aspect and size of the marked boulders, and again in the spring to show the new elements brought in by ice, and the appearance of the ice itself.

As the low-tide period is very short, it is advisable for more than one person to do the painting, sketching and photographing in order to complete the work.

Winter 1956. During the winter no observations were possible because the tidal flats were covered with 4 to 4.5 feet (1.2 to 1.35 m.) of ice.

Spring 1956. The spring observations began with the first signs of break-up on the tidal flats. It is essential to make the first spring survey when there is still floating ice and ice attached to the shore, because it is during the period of 1 to 3 weeks that all changes caused by ice transportation and sedimentation are to be noted.

*An aluminum paint was used in the spring of 1956, and this held much better than the first type of paint, being still visible in the spring of 1957. However by the spring of 1958 it had almost completely disappeared. Thus a long-term survey would require the boulders to be re-painted at 2-year intervals.

MOVEMENT OF BOULDERS BY DRIFTING ICE

2. AERIAL SURVEY

As the observations and techniques described above were necessarily confined to restricted zones, it was considered important to obtain a more general view of a wider area, and thus an aerial survey was made at low altitude, 300 to 600 feet (100 to 200 m.) over the intertidal zones of both shores of the St. Lawrence. This survey covered a 25-mile (37 km.) stretch between Quebec and Cap-Santé (north shore) and Pointe Platon (south shore), and was carried out at low tide. The features studied were sketched on Canadian Hydrographic Service Charts 1333 and 1334 (See Figures 1, 2, 3, 4). Available air photos had been taken at high or half-tide, and thus were of little value for this study.

OBSERVATIONS: 1. PHYSIOGRAPHY OF THE SHORELINE

The intertidal zone

In the Cap-Rouge and St-Augustin region, where the field observations were carried out, the intertidal area presents two well-defined zones; an upper and central zone, and a lower zone (Figure 1).

In the upper and central zone boulders are rather rare. The upper part is 100 to 500 feet (30 to 150 m.) wide and is covered with sand and shingle, and by mud in the inner parts of the bays. The central part, 200 to 1,000 feet (60 to 300 m.) wide, has, in general, bare outcrops of schist and quartzite bedrock, the harder quartzite outcrops sometimes standing 3 to 10 feet (1 to 3 m.) higher than the schistose rock. Boulders occur in both parts of this zone, but they were observed more frequently on unconsolidated deposits.

The lower zone is characterized generally by a single chain of boulders lying parallel to the shoreline; in places off Cap-Rouge this chain is double. The main boulder chain is mostly made up of secondary lines, one or two boulders wide. Where there is a single chain of boulders the zone is 100 to 150 feet (30 to 45 m.) wide. Where the chain is double it is up to 500 feet (150 m.) wide, and the two parts are separated by 100 to 200 feet (30 to 60 m.) of rock or sand where some boulders are scattered on a sandy or rocky substratum (Figure 5).

Boulder characteristics

Disposition: Each chain of boulders is made up of short discontinuous secondary chains, one, two, or three boulders wide, including many irregular patches of boulders disposed at random toward its

GEOGRAPHICAL BRANCH

exterior margin. Within each chain the largest boulders are found at the limits of extreme low tide and here they are at a maximum density. Density and size diminish inshore towards the upper margin of the chain where groups of boulders may alternate with patches of sand and coarse shingle. However, owing to the limits of effective ice shove already explained, both the upper and lower limits of this zone are sharply defined.

Dimensions: The average size of the boulders is between 2 and 4 cu. ft. (0.6 to 1.2 cu. m.) at the lower extremity of the tidal zone. Some boulders are 5 to 6 cu. ft. (1.5 to 1.8 cu. m.) in size, this being the maximum.

Form: Most of the boulders are rounded or sub-angular in form (Figure 6), but angular forms are rare.

Petrographic nature: Most of the boulders are crystalline (granite, granulite, and diorite). It was, however, often difficult to determine their exact nature owing to the grey weathered surface of the boulders and the lack of irregularities from which hammer samples could be obtained. In addition to the crystalline rocks which made up 90 per cent of the blocks, 8 to 9 per cent were of metamorphic schist and quartzites originating in the outcrops of the tidal zone itself, and 1 to 2 per cent of limestone coming from formations lying 10 miles (16 km.) upstream on the north shore. Thus, 90 per cent of the material of the boulders are of a different origin from the rocky substratum of the tidal flats.

Substratum: The boulder chains of the lower tidal zone lie on a bottom of clay or sand largely composed of shingle and schist debris.

Aerial survey of intertidal zones

A comparison of Figures 1, 2, 3 and 4 shows that the wider survey agrees, for the most part, with the detailed observations in the Cap-Rouge and St-Augustin area.

The upper and central zone: On both north and south shores the upper and central part of the intertidal zone is consistently clear of boulders where bedrock is exposed, and even where it is covered by sand or mud, boulders are very rare. There is, however, an exception; on the north shore upstream from St-Augustin, boulders are scattered throughout the upper intertidal zone. The Dombourg Islets, included in this area, are themselves composed of an agglomeration of boulders and sand, and it seems that these boulders are derived from a fossil chain of boulders that runs ashore here and forms the actual bank of the river. Elsewhere there are only a few scattered boulders on sand or mud in the upper zone, sometimes,

MOVEMENT OF BOULDERS BY DRIFTING ICE

but more rarely, in groups of two or three.

The lower zone: With the exception of a few gaps, chiefly between St-Nicolas and Ste-Croix on the south shore, the lower zone is edged at the low-tide mark by a continuous chain of boulders. Off some bays and coves, tidal flats are wide on the north especially where the chain doubles, for example on the east side of the Jacques-Cartier River and west of Cap-Santé on the north shore, and between St-Nicolas Point and Pointe à Basile on the south shore. In one place, between Neuville and Les Ecureulls, where the mean width of the tidal flats is around 4,000 feet (1,300 m.) the chain is triple.

There are marked differences between the features on the two shores of the St. Lawrence. On the north shore, the alignment of boulders is continuous and wider and there is a greater density of blocks, triple chains are found only on the north shore. On the south shore however, the alignment becomes a simple row only one or two blocks wide. In certain places, as for example immediately to the southwest of St-Antoine and west of Ste-Croix, there is a complete break in the continuity of the boulder alignment.

There are apparently two reasons for the uneven distribution of the alignments of boulders on the tidal flats:

There appears to be a wider exposure of bedrock on the south shore, so that boulders can be rolled more easily to the river by the shoving and gripping action of the ice.

As the majority of the boulders lying on the tidal flats are constituted of morainic material from the Laurentians and are carried downstream to the banks of the St. Lawrence by the numerous streams and rivers of the north shore, it is natural that there should be more of this material on the north shore.

The double and triple chains of boulders are separate phenomena. As they occur where the intertidal zone is very wide and has a low gradient they seem to correspond to the tide levels which may vary from 3 to 4 feet (1 to 1.30 m.) between spring and neap levels. An extreme neap level may explain a triple alignment. Where the intertidal zone is more than 1,500 feet wide (480 m.), the horizontal distance between the marks of spring, neap and normal tides is sufficient for more than one line of boulders to develop. This does not necessarily mean that all tidal flats exceeding this width will have a double line of boulders; on the south shore, even where the intertidal zone is wide, the chain tends to remain single because there are fewer boulders.

GEOGRAPHICAL BRANCH

2. THE ICE

Conditions and characteristics

Duration of ice season: The annual cycle of ice on the St. Lawrence in the region of Quebec begins between the first and third week of December and ends between the first and third week of April (Brochu, 1958).

The St. Lawrence freezes from shore to shore upstream from Trois-Rivières. Downstream from this point, only the intertidal zone freezes over completely. The tidal flats are frozen over solidly by the end of December. During the 10 or 20 days at the beginning of the season, ice formed on the tidal flats is still too thin to resist the pressure of tidal movement and is carried away by the river current. Unless there are marked temperature rises above freezing point during the winter, the tidal flats ice remains static after it is firmly frozen over, apart from some marginal breaking.

Near the end of March or at the beginning of April the ice progressively breaks off by sections, from offshore toward the shore, the heads of the bays being the last to be freed.

Ice thickness: The ice normally reaches a thickness of 4 to 4.5 feet (1.2m to 1.35 m.) but by rafting and hummocking it builds up in places to blocks with dimensions from 10 to 20 cu. ft. (3 to 6 cu. m.). Blocks of this size are not uncommon, and their erosive and transporting power can be readily imagined (Figure 7).

Extraneous elements in the ice

An inspection of the stranded and shore-fast ice in the region of Cap-Rouge-St-Augustin in the spring of 1956 revealed much extraneous matter:

Boulders. Owing to the difficulty of examining the lower surface of the ice, only one boulder was actually seen in the ice itself. That does not imply, however, that this was an exception (Figure 8).

Fine sediments. A layer of 2 to 10 in. (5 to 25 cm.) of earthy material was frequently found adhering to the underside of the ice. This usually consisted of black mud or clay and often included roots and other parts of plants (Figure 9). One or more layers were often interbedded in the ice itself, probably the result of successive layers being taken from the bottom by the action of tides combined with freezing conditions that favour the gripping of sediments by adhesion.

MOVEMENT OF BOULDERS BY DRIFTING ICE

Erosion and transport by ice

During the period when the ice is attached to the shore, there appears to be no direct morphological action (with the exception of the gripping of boulders) even though ice is lifted each day by two cycles of 15- to 18-foot (4.5 to 6 m.) tides.

It may be concluded that the transport role of the ice occurs during the periods of free drifting, from the beginning to the end of December and particularly from the end of March to mid-April. The role of scraping, shoving and transportation played by the ice in December seems to be negligible in comparison with these actions in spring, because in December the ice is too thin to be able to detach, shove, or lift up large boulders. On the tidal flats this ice action is confined apparently almost exclusively to the spring period.

Details of erosion and transport of materials in the study area are summarized in the two principal zones.

Upper and central zone: From this zone, particularly from the muddy bottom at the heads of bays, comes most of the earthy material held in the ice; the areas of bare bedrock composed of schist provide little material beyond occasional boulders or frost-loosened rock fragments. In this zone it was impossible to determine by field observation what materials had been moved by the ice, thus the volume of sediments in the ice itself was estimated. This showed that 1 cu. m. of ice lying on a tidal flat covered with sedimentary material can grip 1 to 2 lb. (0.5 to 1 kg.) of sediment in its dry state. It is thus possible to assume that the extensive ice cover resting on a terrigenous or sandy bottom may remove many hundreds of tons of sedimentary material. This is later redeposited by ice either on the tidal flats themselves, or on the bed of the St. Lawrence. The ice is a powerful agent of erosion (by adhesion of material to the frozen subsurface), of transport (by the movement of upstream and downstream tidal currents), and of sedimentation (by deposition on the bed of the St. Lawrence, and by grounding and melting of the ice on tidal flats).

Lower zone: In this zone, characterized by the boulder chains, observations in the spring of 1958 showed that all the blocks remained in their original position at the end of the ice season. The reasons for this appear to be that close spacing of the boulders prevented the ice from enveloping them completely, and that the boulders were lying on a sandy bottom which froze, and they, in turn, were firmly frozen to this surface.

It seems therefore that in the intertidal area, the movement of boulders by floating ice is almost nil. This stability suggests that the chains of boulders have reached a mature state and are unlikely to show

much change in the future, except for the addition of new boulders.

Deposition by Ice

Erosion and transportation are balanced by deposition; the ice, being a seasonal feature, must deposit in the spring what it picks up along the shores in the winter. The new elements in the intertidal zone, however, represent only a fraction of the sediments that are deposited in deeper water. This is evidenced by the observation that clouds of clay particles may be seen in the water in spring when ice floes are struck by the ferry-boats between Québec and Lévis.

The following material was identified as having been deposited by ice in the spring of 1956:

Fine sediments and vegetal debris: Lumps of clay, almost always associated with debris of plants and their roots, 10 to 20 inches (25 to 50 cm.) long and 4 to 5 inches (10 to 13 cm.) thick (Figure 10). The relative density of the lumps seen in the intertidal zone is about one or two per thousand square feet (304 m.²). This relatively low density suggests that the ice carried out into deep water possibly more than 75 per cent of the fine sediments taken from the tidal flats. It was impossible to recognize redeposited free clay on the tidal flats.

Rocky material: In the study area at Cap-Rouge, a granite boulder 3 feet (1 m.) in diameter was observed deposited on the bare rocky part of the upper zone; another boulder 20 inches (50 cm.) in diameter, was seen in the sandy part of the zone; a slab of limestone 20 inches (50 cm.) long, 10 inches (25 cm.) wide and 4 inches (10 cm.) thick was noted close to a group of paint-marked boulders (Figures 1 and 7). This limestone slab probably originated in the Palaeozoic limestone formation situated 10 miles (16 km.) upstream near Neuville (Figures 5 and 11).

During the spring of 1956, when there was still drifting ice, it was possible to observe on the tidal flats within the bay of Cap-Rouge, many furrows in the sand, each leading to a boulder; this seems to prove that the boulders had been pushed by ice. In other places, holes 10 to 20 inches (25 to 50 cm.) deep were seen from which a boulder had recently been carried away. In other places larger blocks, which had scarcely moved had a ridge of sand in front of them due to the pushing action of ice; behind them was a depression in the form of a crescent, showing that this part of the hole had been occupied by a block. Apart from the area where blocks were paint-marked, it is impossible to present precise data on the movement of blocks by the action of the ice; however, the available information suggests that such annual movements do exist. From field observations it was concluded that the density of new boulders is between

MOVEMENT OF BOULDERS BY DRIFTING ICE

25 and 50 per square mile (1.6 km.²).

Bedrock fragments: Frost-shattered fragments of the tidal flat bedrock were recognized by their sharp angularity, and by the fact that they were of the same petrographic nature as the local bedrock, i.e. schist and quartzite. Schist fragments rarely exceeded 1 inch (2,5 cm.) in diameter; quartzite fragments measured up to 1 foot (30 cm.) in diameter.

PRACTICAL APPLICATIONS

This preliminary study suggests that there are practical considerations concerning the possible utilization of tidal flats for landing purposes.

Stability of aligned or dispersed blocks

The upper and central part of the intertidal zone is an area of great stability with regard to boulder movement, and few changes take place from year to year.

The lower zone with its single, double or even triple chains, shows maximum stability, although some new boulders may be added to the chains each spring. There was no evidence in this survey that the boulders had been or were likely to be moved by ice. Additional boulders, however, may be added to the chains during spring.

In this part of the St. Lawrence River, and presumably in other similar areas, movement of boulders by ice is on such a small scale that good air photos taken at low tide, and mapping of the tidal flats and their chains of boulders may be considered as a semi-permanent representation of the profile.

Sedimentation by ice of harbors and channels

In the St. Lawrence, the problem of sedimentation in harbors and navigation channels is much more serious than the changes that may occur on tidal flats. It was estimated that ice carries away many tons of sediment each year, and thus plays an important part in the processes of erosion and deposition. This process should be taken into account when attempting to solve problems of sedimentation in harbors and channels.

Comparison with the Arctic

This study was initiated to acquire an idea of the action of ice on boulder-strewn tidal flats similar to those found in many locations in the Arctic.

GEOGRAPHICAL BRANCH

As ice conditions in the Arctic differ from those in the St. Lawrence region, the conclusions of this study may not be directly applicable to northern regions. Ice thickness is usually greater than on the St. Lawrence, and therefore its transport efficiency may be higher; the density of boulders may increase or decrease according to local topography and rock types, and this may affect the amount of seasonal movement; newly-detached angular blocks from cliffs and other rock outcrops almost free from vegetation, may be a more common feature in the Arctic.

Thus, in the Arctic, there may be more modifications of tidal flats from year to year than were observed on the St. Lawrence. In consequence, further surveys would be required in the Arctic in areas of differing lithological, tidal, and current conditions in order to ascertain if the conclusions reached in the St. Lawrence valley are applicable in the Arctic. It would greatly facilitate future research if air photos, taken at extreme low tide, were available for the areas to be surveyed in the Arctic as well as in the St. Lawrence.

CONCLUSION

From this preliminary study it was observed that the upper and central intertidal zone of the beaches surveyed had few boulders. Those that were noted were highly sensitive to the transporting action of ice, especially when they lay on rock or coarse sand. At the low tide limit, there was usually a chain of boulders on both shores of the St. Lawrence. On the north shore there was often a double chain, and in some instances, a triple chain. Within these chains it was observed that the boulders were very stable, the ice apparently having little or no transporting effect. Some additional blocks were observed, however, during the spring of 1956.

Ice should be recognized as a powerful agent of erosion, transportation, and deposition of finer sediments. A fraction of these sediments is deposited on the tidal flats, but most is probably laid down on the bed of the St. Lawrence River. It was concluded therefore that ice plays an important part in the silting up of harbors and navigation channels.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writer gratefully acknowledges the assistance of Jean and François Hamel in the field.

BIBLIOGRAPHIE - BIBLIOGRAPHY

Brochu, Michel.

- (1954) : Un problème des rives du St-Laurent: blocs erratiques observés à la surface de terrasses marines. Rev. Géomorph. Dyn. no 2, 5ième année, 76.

Brochu, Michel et autres.

- (1958) : La navigation d'hiver sur le Saint-Laurent de l'Atlantique au port de Québec. Bureau de l'Industrie et du Commerce Métropolitain de Québec, Québec.

Kindle, E.M.

- (1924) : Geology and geography of Lake Melville District, Labrador Peninsula. Geol. Surv., Canada, Mem. 141.

Lyell, Sir Charles.

- (1845) : Travels in North America in the years 1841-1842. 2 vols. Wiley and Putman, New York.
- (1943) : On the ridges, elevated beaches, inland cliffs and boulder formations on the Canadian lakes and valley of the St. Lawrence. Roy. Inst. Gr. Brit. Proc. v. 2, London.

Prat, Henri.

- (1933) : Les zones de végétation et le faciès des rivages du St-Laurent au voisinage de Trois-Pistoles. Naturaliste Can. v. LX, no 4, 93.

GEOGRAPHICAL PAPERS

Papers Nos. 1 to 6 are out of print.

- No. 7. Extracts Relating to the Navigability of Canadian Inland Waterways. By W. A. Black, Ottawa, 1956. 55 p., offset. *Price 50 cents.*
- No. 8. Notes on Potential Building Sites in the Bathurst Inlet Area, N.W.T. By J. B. Bird and M. B. Bird, Ottawa, 1956. 15 p., map, offset. *Price 25 cents.*
- No. 9. A Report on Sea Ice Conditions in the Eastern Arctic, Summer 1956. By W. A. Black, Ottawa, 1956. 32 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 10. A Preliminary Report on Ice Conditions at Cacouna Island, Quebec. (Bilingual). By B. Robitaille, Ottawa, 1957. 24 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 11. An Illustrated Glossary of Ice Types in the Gulf of St. Lawrence. By W. A. Black, Ottawa, 1957. 50 p., map, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 12. Gulf of St. Lawrence Ice Survey, Winter 1956. By W. A. Black and C. N. Forward, Ottawa, 1957. 23 p., maps, offset. *Price 25 cents.*
- No. 13. Notes on Small Boat Harbours, N.W.T. By J. Ross Mackay, Ottawa, 1957. 12 p., illus., offset. *Price 25 cents.*
- No. 14. Gulf of St. Lawrence Ice Survey, Winter 1957. By W. A. Black, Ottawa, 1957. 29 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 15. A Report on Sea Ice Conditions in the Eastern Arctic, Summer 1957. By W. A. Black, Ottawa, 1958. 32 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 16. Ice Conditions in the Gulf of St. Lawrence during the Spring Seasons 1953-1957. By C. N. Forward, Ottawa, 1958. 13 p., maps, offset. *Price 25 cents.*
- No. 17. Étude du Port de Québec. Par P. Camu, Ottawa, 1958. 79 pages, cartes, ill., offset. *Priz 75 cents.*
- No. 18. A Subsurface Organic Layer Associated with Permafrost in the Western Arctic. By J. Ross Mackay, Ottawa, 1958. 22 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 19. Gulf of St. Lawrence Ice Survey, Winter 1958. By W. A. Black, Ottawa, 1959. 56 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 20. A Report on Sea Ice Conditions in the Eastern Arctic, Summer 1958. By W. A. Black, Ottawa, 1959. 36 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 21. Sea Ice Conditions in the Northumberland Strait Area. By C. N. Forward, Ottawa, 1959. illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 22. Notes on the Glaciation of King William Island and Adelaide Peninsula, N.W.T. By J. Keith Fraser and W. E. S. Henschel, Ottawa, 1959. 39 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 23. Gulf of St. Lawrence Ice Survey, Winter 1959. By W. A. Black, Ottawa, 1959. 56 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 24. Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive de l'estuaire et de la partie nord-est du golfe Saint-Laurent, hiver 1957-1958. Par Michel Brochu. Ottawa, 1960. 93 pages, cartes, offset. *Priz \$1.00*
- No. 25. Gulf of St. Lawrence Ice Survey, Winter 1960. By W. A. Black, Ottawa, 1960. 64 p., maps, illus., offset. *Price \$1.50*
- No. 26. Shoreline changes in Egmont Bay and Bedeque Bay, Prince Edward Island. By Charles N. Forward. Ottawa, 1960. 15 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 27. A Report on Sea Ice Conditions in the Eastern Arctic, Summer 1960. By W. A. Black, Ottawa, 1961. 34 p., maps, illus., offset. *Price 75 cents.*
- No. 28. A Pilot Project for Permafrost Investigations in Central Labrador-Ungava. By J. D. Ives, Ottawa, 1961. 26 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*
- No. 29. Geomorphological Studies in northeastern Labrador-Ungava. By J. T. Andrews and E. M. Matthew, Ottawa, 1961. 36 p., maps, illus., offset. *Price 50 cents.*