

La notion de pied de glace (Icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent

Jean-Claude Dionne

Volume 17, numéro 41, 1973

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/021116ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/021116ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Dionne, J.-C. (1973). La notion de pied de glace (Icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. *Cahiers de géographie du Québec*, 17(41), 221–250. <https://doi.org/10.7202/021116ar>

Résumé de l'article

Dans une première partie, l'auteur fait une revue des définitions et des classifications existantes du pied de glace, montrant que la notion de pied de glace est imprécise, souvent ambiguë et diffère fréquemment d'un auteur à l'autre. Dans la seconde, il définit et décrit le pied de glace dans l'estuaire du Saint-Laurent en distinguant deux grands types de pied de glace : celui de haut et de bas estran. Il souligne aussi son rôle protecteur et morpho-sédimentologique.

LA NOTION DE PIED DE GLACE (ICEFOOT), EN PARTICULIER DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

par

Jean-Claude DIONNE
Environnement Canada, Québec

Introduction

Une revue de la littérature du glacié permet de constater que la notion de *pied de glace (icefoot)* diffère souvent d'un auteur à l'autre, entraînant ainsi une certaine confusion. Il existe parfois des différences substantielles entre les diverses définitions offertes dans les dictionnaires ou dans les travaux consacrés au sujet. En anglais, la graphie d'*icefoot*, l'équivalent de pied de glace, varie suivant le caprice des auteurs ; on écrit tantôt *icefoot*, *ice-foot* ou *ice foot*. Or, d'après le *Glossary of Geology* de l'*American Geological Institute* (Gary et al., 1972, p. 350), *ice foot*, écrit en deux mots signifierait la partie basse au front d'un glacier ou un banc de neige durcie ou partiellement converti en glace, localisé au pied d'une colline escarpée. On peut affirmer sans exagération que l'expression *pied de glace* et son équivalent anglais *icefoot* sont communément employées à tort et à travers ou du moins d'une façon trop imprécise.

L'expression *pied de glace* est une traduction du terme anglais *icefoot* introduit par Kane (1856) qui vient du mot danois *isfod* utilisé par les explorateurs danois. Au sens strict, le *pied de glace* correspond à un étroit liséré de glace soudé au rivage par le côté intérieur ou par le fond ou par les deux à la fois et localisé à la partie supérieure du rivage. Il est habituellement constitué de glace pure, mais peut parfois comprendre de la glace nivale dans sa partie interne et à sa surface. En principe, le pied de glace *sensu stricto* n'est pas soumis à l'effet direct des marées au cours de la saison glacielle. Il résulte de la congélation *in situ* d'une nappe d'eau (marine ou lacustre) ou encore de l'agglomération de glaçons poussés sur le rivage par les vagues et soudés ensemble par la suite, ou encore de la congélation d'eau projetée sur la partie supérieure du rivage lors du déferlement.

La présente contribution a pour objet une revue critique des diverses définitions et classifications existantes et une description et caractérisation du pied de glace des rives de l'estuaire du Saint-Laurent.

1ère partie : LA NOTION DE PIED DE GLACE EN GÉNÉRAL

A. LES DÉFINITIONS EXISTANTES

L'expression *pied de glace* et son équivalent anglais *icefoot* ont fait l'objet de nombreuses définitions. Une revue adéquate impose de reprendre la plupart d'entre elles. Nous distinguerons les définitions offertes dans les dictionnaires spécialisés¹, de celles contenues dans des travaux consacrés en partie ou en totalité au pied de glace. La littérature pertinente étant principalement de langue anglaise, nous avons, par souci d'exactitude, préféré les définitions dans cette langue ; mais nous commencerons par la littérature de langue française.

1. Les définitions des dictionnaires

Comme il existe plus d'une centaine de dictionnaires de géographie, géologie, glaciologie et océanographie (Dionne, 1973), il s'avère difficile de tout revoir ici ; on se limitera donc aux définitions des ouvrages les plus utilisés.

Curieusement, on trouve de rares ouvrages de langue française parlant du pied de glace. George (1970, p. 324), dans le *Dictionnaire de la Géographie*, le définit comme une « *Masse de glace fixée au pied d'une falaise dans les mers froides. Cette masse est faite de la conjonction de glace de mer, de neige tassée, et de glace d'eau douce. Son expansion provoque l'éclatement des roches, sous les effets de gel et de dégel rendus fréquents du fait du jeu de la marée et de l'amplitude thermique diurne. Le rongement de la falaise par ce processus réalise une plate-forme d'abrasion et peut-être un strandflat.* »

Hamelin (1959, p. 51) distingue entre le pied de glace pure et le pied de glace nivale. Il définit le premier comme de la « *Glace en place, soudée au rivage et au fond, développée d'autant mieux que les bords du lit sont larges et peu profonds. Il n'y a pas de chenal d'eau libre entre le pied de glace et la rive. Le pied de glace n'est pratiquement pas influencé par le jeu de la marée.* » Le second correspond à une « *Lisière de glace localisée le long du littoral mais au-dessus et en dehors de la nappe d'eau ; la glace ne vient pas de la congélation de la nappe d'eau mais de la congélation des eaux de fonte de la neige locale. Ce pied de glace neige élargit du côté continental le pied de glace pure.* »

Cet auteur reprend ailleurs (Hamelin et Cook, 1967, p. 100) mais d'une manière plus ambiguë et incomplète, la notion de pied de glace : « *L'expression pied de glace a une double signification. Strictement parlant, c'est un terme glaciologique. Le pied de glace n'est pas toujours constitué*

¹ Le terme *ice foot* est mentionné dans le *Webster's New International Dictionary* (1953, p. 1233) et dans le *Random House Dictionary* (1967, p. 705). Dans le premier ouvrage, il est défini comme : « a. A wall or belt of ice that forms along the shore in arctic regions between high and low watermarks as a result of rise and fall of the tides. b. The ice at the front of a glacier ». Dans le second, il n'a qu'un sens : « In polar regions a belt of ice frozen to the shore, formed chiefly as a result of the rise and fall of the tides. »

de glace pure qui vient exclusivement de la congélation de l'eau ; il comprend souvent de la neige glacée (neige pure partiellement imbibée d'eau puis recongelée). Le pied de glace est en général constitué de glace en place. Quand cette bordure glacio-nivale est située le long d'une côte à marée, on parle parfois de glace d'estran ou de glace de batture ». L'illustration du pied de glace offerte à côté de la définition fait voir une étroite terrasse d'un à deux mètres de largeur au pied d'un versant raide qui correspond davantage à un pied de glace résiduel qu'à un vrai pied de glace, de sorte que le lecteur éprouve certaines difficultés à se faire une idée précise du phénomène.

On trouve de nombreuses définitions en langue anglaise du terme *icefoot*. Gary *et al.* (1972, p. 350), dans le *Glossary of Geology* de l'*American Geological Institute*, le définissent comme « *A narrow strip, belt, or fringe of ice formed along and firmly attached to a polar coast, unmoved by tides, and remaining after the fast ice has broken away ; it is usually formed by the freezing of wind-driven spray, or of seawater during ebb tide. A true icefoot has its base at or below low-water mark.* »

Armstrong *et al.* (1966, p. 23), dans l'*Illustrated Glossary of Snow and Ice* du *Scott Polar Research Institute*, définissent le terme *icefoot* comme « *A narrow fringe of ice attached to the coast, unmoved by tides and remaining after fast ice has broken free.* »

Stamp (1961, p. 251), dans son *Glossary of Geographical Terms* reprend les définitions du *Ice Glossary* et du *Webster Dictionary*. Dans le premier, il s'agit de « *A narrow strip of ice attached to the coast, unmoved by tides and remaining after the fast ice has broken free* » ; dans le second, le pied de glace a deux sens : « *A wall or belt of ice that forms along the shore in the Arctic regions between high and low watermarks as a result of the rise and fall of the tides* », et « *The ice at the front of a glacier* ». Dans le *Longmans Dictionary of Geography*, Stamp (1966, p. 199) se contente d'une définition laconique du terme : « *A belt of ice that forms along a shore, unmoved by tides.* »

Schiederdecker (1959, p. 58), dans le *Geological Nomenclature* de la *Royal Geological and Mining Society of the Netherlands*, définit le terme *icefoot* comme : « *An ice step attached to the coast and unmoved by tides.* »

Moore (1958, p. 88 et 1967, p. 110), offre une définition assez élaborée du pied de glace : « *A mass of ice projecting into the sea on an Arctic or Antarctic shore. It sometimes becomes very thick, with its upper edge several feet above sea level. The first stage in its formation takes place during the autumn, when snow accumulates along the shore ; water thrown up by the waves freezes on to this snow, and forms a mass of ice. This is later augmented by lumps of sea-ice, likewise forced on land by tides and waves. Fragments of rock often collect on the ice-foot, and protect the ice from melting so that parts of it remain till the following autumn.* »

Swayne (1956, p. 77) fournit trois définitions pour l'expression *ice-foot* : « a, *A wall of ice at the base of a mountain, formed from snow accumulation, but from converging glaciers.* b, *A wall of ice formed from sea spray along the shore in polar regions.* c, *An ice strip attached to the coast unmoved by tides and remaining after the fast ice has moved away.* »

Pour le U.S. Navy Hydrographic Office (1952, p. 140), l'*ice foot* a deux sens : 1, « *A class of fast ice consisting of ice formed along and attached to the shore. The base of the ice is at or below low water mark. The action of tide, waves and sea spray causes the development of the ice foot during the freezing season. Differences in the causative factors are reflected in the difference in the ice foot.* » 2, « *The ice at the front of a glacier.* »

Pour Rice (1940, p. 185) l'*ice foot* est : « *A wall of ice formed by sea water and snow frozen at the sea shore in polar regions. Also called ice ledge.* »

2. Les définitions des autres ouvrages

En dehors des dictionnaires, on trouve un certain nombre de définitions du pied de glace (*icefoot*) dans divers travaux ou ouvrages scientifiques. Les premières remontent au XIX^e siècle.

Kane (1856, p. 175-177) semble, en effet, le premier à avoir utilisé le terme *ice-foot* en traduction anglaise de l'expression danoise *eis-fod*², mais il lui préfère l'expression *ice-belt* : « *The name is adapted on board ship from the Danish « Eis-fod », to designate a zone of ice which extends along the shore from the untried north beyond us almost to the Arctic circle. (...) ... it is a perennial growth, clinging to the bold faces of the cliffs, following the sweeps of the bays and the indentations of rivers. This broad platform, although changing with the seasons, never disappears. (...) ... perched high above the grinding ice of the sea, and adapting itself to the tortuosities of the land.) As such, I shall call it the « ice-belt ». (...) ... as an agent of geological change, it is in the highest degree interesting and instructive. Although subject to occasional disruption, and to loss of volume from evaporation and thaws, it measures the severity of the year by its rates of increase. Rising with the first freezings of the late summer, it crusts the sea-line with curious fretwork and arabesques : a little later, and it receives the rude shock of the drifts and the collision of falling rocks from the cliffs which margin it : before the early winter has darkened, it is a wall, resisting the grinding floes ; and it goes on gathering increase and strength from the successive freezing of the tides, until the melted snows and water-torrents of summer for a time check its progress.* » Les illustrations contenues dans l'ouvrage font voir divers types ou aspects du pied de glace dans l'Arctique (figures 1 et 2).

² D'après KOCH (1928, p. 393), la bonne graphie du terme danois serait *isfod* et non *eis-fod* ; voir aussi ARMSTRONG et al. (1966, p. 23).



Figure 1 Type de pied de glace dans l'Arctique, Lithogravure tirée de Kane (1856).

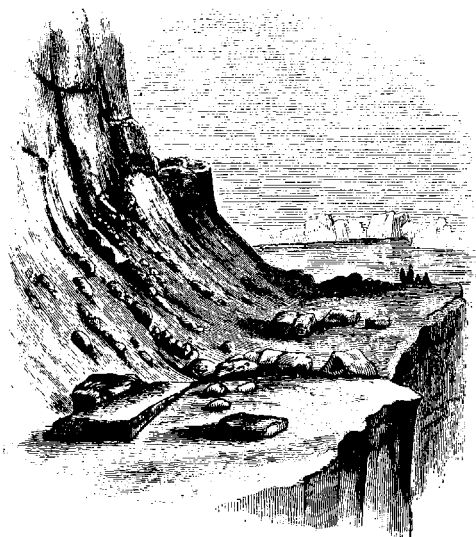


Figure 2 Pied de glace au cap James-Kent, d'après Kane. Lithogravure tirée de Prestwick (1886, p. 189).

Pour Ramsay (1878) l'*ice-foot* correspond au phénomène suivant : « *Along the shores also, when the sea freezes, the ice becomes attached to the coast. By-and-by, as summer comes on, the ice partly breaks away, leaving what is called an ice foot — still joined to the land.* »

Geikie (1882, p. 62-64) décrit ainsi le pied de glace : « *Along the coast from near the Arctic Circle, up to Kennedy's Channel, a narrow shelf or platform, varying 60 to 150 ft. or so in breadth, adheres to the rocks, accomodating itself to every sweep and indentation of the coastline. In the higher latitudes this shelf never entirely disappears, but further south it breaks up and vanishes towards the end of the summer. It owes its origin to the action of the tides. The first frost of the late summer covers the sea with a coat of ice which, carried upwards along the face of the cliffs by the tide, eventually becomes glued to the rocks. In this position it remains, and gradually grows in thickness with every successive tide until it may reach a height of 30 ft., and sometimes even more, presenting to the sea a bold wall of ice, against which the floes grind and crush, and are pounded into fragments. Its growth only stops with the advent of summer, when it begins to yield to the kindly influence of the sun, and to the action of the numerous streams that issue from the melting glaciers, and lick out for themselves deep hollows in the shelf as they rush outwards to the sea.*

During summer vast piles of rock and rubbish crowd the surface of the ice-foot. These are of course derived from the cliffs, to the base of which the ice-foot clings. To such an extent does this rock-rubbish accumulate, that the whole surface of the shelf is sometimes buried beneath it and entirely hidden from view. In the far north, where the ice-foot is perennial, it becomes thickly charged with successive deep layers and irregular masses

of rock and debris — the spoil of the summer thaws. And when, as frequently happens, portion of this ice-belt get forced away from the land by the violent impact of massive floes, the current carries southward the loaded ice, which ere long will drop its burden of rock and rubbish as it journeys on, and warmer temperatures begin to tell upon it. Along that part of the coast of Greenland where the ice-foot is shed at the end of every summer, the quantities of rock debris thus borne seawards must be something prodigious.

Prestwich (1886, p. 188) écrit ce qui suit du pied de glace : « *When high cliffs overhang and the water is deeper, a belt of ice is formed at the base of the cliffs by the freezing of the water and the drifting of snow, which is known as the ice-foot. It is this ice, which receives on its surface the angular debris detached from overhanging cliffs, that forms so important an instrument of transport in Smith's Sound and Baffin's Bay.* » Il fournit aussi diverses illustrations de pied de glace (figures 2 et 3).

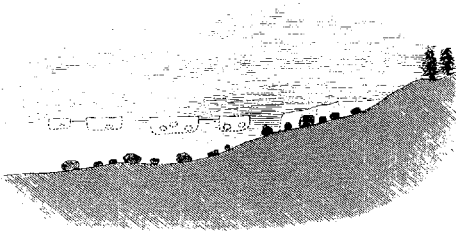


Figure 3 Illustration du pied de glace prenant en charge des blocs d'estran et les dispersant sur le fond. Lithogravure tirée de Prestwich (1886, p. 191).

Pour Nordenskjöld et Mecking (1928, p. 290), le pied de glace est : « *A narrow ledge of sea ice several meters thick that forms in the tidal zone.* » ; alors que pour Bentham (1937, p. 328-329), il correspond à : « *That part of the sea-ice which is frozen to the shore and is therefore unaffected by tidal movements. It is separated from sea-ice proper, which moves up and down with the tide, by the tidal crack.* » D'après cet auteur, deux

conditions sont essentielles à la formation du pied de glace, soit des températures suffisamment basses et une grande différence entre le niveau des hautes et des basses mers : « *When the waters recede at ebb, the cliffs, or shore become covered with a layer of ice. This process is repeated at every tide until ultimately a continuous rim of ice is formed all along the coast.* » L'auteur ajoute : « *When the shore is shelving, the horizontal distance between the high — and low — tide marks is greater and the ice-foot is wider, while its seaward margin is usually vertical.* » Il admet donc que le pied de glace recouvre la zone intertidale.

Koch (1928, p. 394), dans une étude portant sur le pied de glace des côtes du Groënland, fournit les précisions suivantes : « *In the winter the whole coast of Greenland is girdled with a belt of ice, the so-called ice-foot. (. . .) As a snow-white belt the ice-foot extends along the coast, following even its slightest indentations. It also forms round stranded icebergs and along the front of quiet glaciers provided that these are not afloat. (. . .) The outermost edge of the ice foot is generally vertical and in line with that point on the coast which is dry at low water, at any rate the front of the ice-*

foot will never be farther advanced than half a meter from this line, and consequently the ice-foot is always aground. »

Feyling-Hensen (1953, p. 49) reconnaît de son côté que « *according to its mode of formation, the ice-foot should cover the shore from high-water level down to low-water level. »*

Pour Charlesworth (1957, p. 174-175), la notion de pied de glace est plus complexe : « *This low, flat terrace skirts the polar coasts more or less continuously just above sea-level. It surrounds islands and stranded bergs and fringes quiet glaciers which are aground at the edge of the Antarctic ice-sheet. Its ribbon of ice, firmly frozen to the ground, follows the coastal undulations . . . Its level top marks the highest tide of the year and rises to 3 m or more. It is especially broad on shores which are protected . . . In Kane Basin it is 100 m or even several kilometers broad. It is very narrow on steep and rocky cliffs . . . The outer edge falls steeply or vertically towards sea-ice and coincides with a tidal crack along the line of ebb tide. On gently shelving shores, where the terrace is very wide, the transition to floe-ice is scarcely perceptible and there are many tidal cracks. The ice-foot preceeds the formation of sea-ice and survives the disappearance of this ice but is only permanent if the summers are cold. It melts rapidly in spring by waters from the land which erode deep gutters along its edge, by warm sea-water which undermines it and by the sun's rays, aided by grit blown out by the wind. »* Pourtant la seule illustration d'un pied de glace contenue dans l'ouvrage de Charlesworth (1957, Pl. VII, p. 192) représente une étroite lisière de glace accrochée au rivage rocheux à la limite des hautes mers, analogue aux exemples fournis par Bentham (1937, p. 196), le U.S. Navy Hydrographic Office (1952, p. 57), Hamelin et Cook (1967, p. 101) et Armstrong *et al.* (1967, fig. 50). Le lecteur obtient donc un concept différent du pied de glace selon qu'il lit le texte ou examine la photographie.

Greene (1970, p. 421) distingue entre le *kaimoo* et le pied de glace proprement dit : « *The kaimoo is defined as a bed of ice and frozen sand and gravel extending from the water line shoreward toward the backshore. Ice foot is here defined as a fringe of ice bordering the land and extending seaward from the water line. The ice foot occurs during freeze-up, prior to the development of shorefast sea ice and is well defined until it is incorporated into the fast ice. »*

Dans un travail récent sur la nature du pied de glace des plages de la baie de Radstock, (île de Devon, Arctique canadien), McCann et Carlisle (1972) font une brève revue de quelques-unes des définitions fournies plus haut et se rallient à celle de Bentham (1937). Ils reconnaissent à la suite de quelques auteurs que la marée constitue un facteur important dans la formation du pied de glace et que la pente et la largeur de la plage jouent aussi un rôle. Pour eux, « *The ice-foot is developed in the upper part of the*

intertidal zone of tidal beaches : it may be built considerably above high-water level by the freezing of swash and spray, and clearly extends well below high-water mark. It is unlikely to contain much interbedded sediment, for the lower part of the beach below the ice-foot is likely to be sealed by a cover of ice developed at low tides » (p. 179).

Pour Cayeux (1969, p. 450), le pied de glace correspond à la glace fixée au rivage : « *Le long du rivage, on voit souvent une fente de marée, séparant la glace fixe, encore appelée le pied de glace, accrochée à la rive, de la banquise soumise au balancement des marées. (...) Dans l'estuaire du Saint-Laurent, en hiver, le pied de glace, souvent ancré, adhère aux graviers et aux herbes des marais littoraux. Au printemps, quand les grandes marées le disloquent et le soulèvent en glaçons, certains, parmi ceux-ci, entraînent avec eux une partie du gravier ou du tapis herbeux, et le déposent plus loin.* »

Le pied de glace n'est pas exclusif aux seules côtes océaniques ou à celles des mers bordières bien que ce soit le long de ces dernières qu'il est le mieux développé. Il s'en forme aussi sur les rivages des lacs, des fleuves et des grandes rivières des régions froides. Il correspond alors à une nappe de glace fixée au rivage et comprise entre les limites des hautes et des basses eaux. Pour quelques auteurs il s'agit d'un frange de glace à la partie supérieure du rivage résultant de la congélation d'eau provenant du déferlement. Zumberge et Wilson (1953, p. 202) précisent : « *Beginning with the surf-freezing temperature, spray produced in the surf zone is blown onto the foreshore and frozen. Eventually, through a continuation of this process, the frozen spray produced a mass of ice firmly attached to the foreshore. This is called ice-foot.* »

Marsh *et al.* (1973, p. 48), décrivent ainsi le pied de glace des rives du lac Supérieur : « *The long, narrow, continuous ridges of grounded ice, separated by broad areas of low-relief ice, that parallel much of the shoreline of Lake Superior and other Great Lakes are called icefoots. They form from fields of small fragments of lake ice and ball ice which have been heaped up by storm waves and grounded. Once stabilized, an icefoot can continue to grow by wave overwash and wave spray. A sequence of up to four ridges of successively increasing size generally forms during the winter, and the outermost ridge is subject to wave action, both erosional and depositional, most of the time. The icefoots are of geomorphic importance, as they protect the shoreline from the high-energy waves of winter and spring, thereby reducing rates of erosion which otherwise might be expected.* »

B. LES CLASSIFICATIONS EXISTANTES

Quelques auteurs ont jugé utile de différencier divers types de pied de glace. Il s'agit tantôt de classifications basées sur des différences majeures,

tantôt sur des différences mineures, qui ont une connotation régionale ou locale permettant d'obtenir une image plus précise du phénomène.

Wright et Priestley (1922, p. 295-308) ont distingué cinq types de pied de glace dans l'Antarctique :

1. le *tidal platform icefoot*, formé par l'action de la marée dans la zone comprise entre la limite des hautes et des basses mers ;
2. le *storm icefoot*, construit au-dessus de la limite des hautes mers, par les paquets d'eau projetés sur le rivage lors du déferlement ;
3. le *drift icefoot*, formé de neige accumulée sur le rivage et métamorphisée en glace au cours des années ;
4. le *pressure icefoot*, résultant du chevauchement de glaçons les uns sur les autres alors qu'ils sont poussés sur le rivage par des pressions venant du large ;
5. le *stranded-floe icefoot*, composé de glaçons échoués sur le rivage.

Joyce (1950) décrit deux autres types de pied de glace se formant sur les rivages de l'Antarctique :

1. le *false ice foot*, situé au niveau des hautes mers ou au-dessus, et formé de neige et d'eau de fonte congelée ;
2. le *wash and stain ice foot*, situé dans la zone intertidale et résultant de l'affaissement progressif de la température de l'eau et du niveau de la mer dans laquelle la houle constitue le seul élément perturbateur ; sa formation nécessite une plage en pente douce.

Le *U.S. Navy Hydrographic Office* (1952, p. 14) reprenant les catégories reconnues par Wright et Priestley (1922) et par Joyce (1950), mentionne, mais sans les définir, six types de pied de glace : le *tidal platform ice foot*, le *storm ice foot*, le *drift ice foot*, le *stranded ice foot*, le *false ice foot*, et le *wash and stain ice foot*.

Koch (1928, p. 398-420) décrit longuement les aspects du pied de glace des côtes du Groenland, principalement du point de vue de la « traficabilité », mais ne propose aucune classification particulière. Il parle toutefois d'un pied de glace permanent et d'un pied de glace disparaissant entièrement en été, d'un « *narrow ice-foot* » (30-60 m) et d'un « *broad ice-foot* » (plusieurs kilomètres), et occasionnellement d'un « *floe pressure ice-foot* » et d'un « *glacier pressure ice-foot* », d'un « *storm ice-foot* », d'un « *drift ice-foot* » et d'un « *stranded floe ice-foot* ».

Bentham (1937, p. 329) consacre une partie de son étude aux types de pied de glace, mais se contente de dire que « *the character of the ice-foot in any particular locality is dependent on the nature of the coast* », en précisant que lorsque l'estran est large, le pied de glace est étendu, lorsque la côte est accore, il est étroit.

Charlesworth (1957, p. 174-175) distingue de son côté six types de pied de glace dont quatre sont identiques à ceux décrits par Wright et Priestley (1922) :

1. le *drift-ice-foot* est alimenté par des apports nivéo-éoliens provenant de l'intérieur (des terres) et connaît un développement maximum au pied des falaises et des glaciers ; il est le dernier à se former et le premier à disparaître, par conséquent le moins permanent ;
2. le *spray ice-foot* se développe à partir des embruns et des paquets d'eau projetés sur le rivage lors du déferlement ;
3. le *pressure ice-foot* se forme dans les baies profondes et sur les côtes exposées aux pressions du pack ; il est constitué de radeaux de glace marine entassés contre la rive par le vent et la marée ; il a un aspect chaotique dû au chevauchement des glaçons ; de la neige et de l'eau de recongélation cimentent les vides et produisent une couverture de glace agglomérée ;
4. le *tidal platform ice-foot* se forme dans la zone intertidale par congélation et agglomération de glaçons ; il est bien développé sur les côtes à marée de fortes amplitudes, mais peut aussi se développer au pied des falaises accores.
5. le *storm ice-foot* se forme au cours des tempêtes dans l'Antarctique ; il est exceptionnellement haut et en surplomb du côté de la mer ;
6. le *melt ice-foot* correspond à une terrasse submergée frangeant les icebergs et les grands radeaux de glace et résulte de la fonte de la glace.

Rex (1964, p. 392-394) distingue entre le *storm-ice-foot*, le *gravel-sand-ice foot* et le *tidal-platform-ice foot* pour la région de Barrow (Alaska) : « *During the period of freeze-up, storms may produce a storm-ice foot. This consists of a shelf or toe of ice near high water mark that results from adfreezing of water as waves wash up the beach. The ice foot runs parallel to the water's edge and has a convex upward cross-section with an irregular, broken-off seaward side. A large amount of gravel and sand is often washed up the beach from the surf zone and included in the storm-ice foot. Crystals of frazil ice also washed onto the beach and incorporated into it. At Barrow this feature should better be called the gravel-sand-ice foot. (...) This gravel-sand-ice foot is finely bedded, with beds ranging from 50 to 10 centimeters in thickness and in exceptional cases rises as much as 8 feet above the wave-equilibrium surface. (...) The storm-ice-foot mantles the seaward side of the beach in the Barrow area. It thaws in place without breaking away from shore, so sand, and gravel incorporated into the ice foot are dropped on the beach. (...) In many areas the ice foot is predominantly a tidal-platform-ice foot ... When it is present it affords complete protection from wave-erosion* ».

En milieu lacustre, Zumberge et Wilson (1953, p. 202) distinguent entre le *shore ice-foot* et l'*off-shore ice-foot* d'une part, et l'*active ice-foot*

et l'*inactive ice-foot* de l'autre : « *At the water-edge of the ice-cover . . . a new ice-foot may develop. Sometimes the new ice-foot is initiated by the presence of an ice ridge formed by the shingling or jamming of broken ice blocks along the open water edge of the sheet ice. Spray on this ridge cements it firmly together, thus producing a new ice-foot . . . This second type of ice-foot is called the off-shore ice-foot in contrast to the shore ice-foot. If the ice-foot borders expanse of open lake water, it is an active ice-foot ; an ice-foot locked firmly in frozen lake ice is inactive . . . In shallow water of the surf zone the off-shore ice-foot may be grounded.* »

Norrman (1964, p. 151-154) décrit deux types de pied de glace communs aux rivages du lac Vättern, en Suède. L'un, appelé *ice platform* est construit à la partie supérieure de la plage par congélation d'eau provenant du jet de rive (*swash*) ; l'autre, à allure plus chaotique, est appelé *ice wall* et résulte de l'entassement, à la partie supérieure de la plage, de frazil cimenté par de l'eau projetée lors du déferlement : « *The suspension sent up the ice front by the swash is rapidly drained to form slush, and the part washed back again is deposited at the outer edge of the ice-foot. The drained slush congeals, and a ridge of soft ice with a steep front and a more gentle slope towards the land is built up* » (p. 154).

C. COMMENTAIRES SUR LES DÉFINITIONS ET LES CLASSIFICATIONS

Que retenir de ces diverses définitions et classifications, sinon un manque évident d'unité et une certaine ambiguïté ? Tous les auteurs s'accordent à dire que le pied de glace correspond à une frange ou à une « terrasse de glace » en bordure du rivage ; mais dès qu'il s'agit de préciser davantage cette notion, apparaissent les différences.

Certains considèrent le pied de glace comme une forme propre aux rivages polaires, ce qui est inexact. Il faudrait dire plutôt propre aux régions froides ; ce qui n'est pas la même chose. En Amérique du Nord par exemple, il se forme des pieds de glace sur les rivages sis au sud du 48° de latitude nord alors que les régions polaires sont localisées au N. du 60° de latitude.

D'aucuns affirment que le pied de glace correspond à la couverture glacielle recouvrant la zone intertidale, d'autres qu'il correspond à une étroite terrasse à la limite supérieure des hautes mers, et d'autres l'étendent à toute la zone littorale et pré-littorale peu profonde, en autant que la couverture glacielle est continue et accrochée au rivage.

Plusieurs considèrent que le pied de glace est soudé au rivage par le côté et par le fond et n'est pas soumis à l'action des marées ; d'autres affirment qu'il est soumis aux mouvements verticaux de la marée, du moins en partie, et qu'il n'est pas toujours soudé au fond même s'il repose sur le fond, à marée basse.

Quelques définitions contiennent même des éléments contradictoires, notamment celles qui affirment que le pied de glace recouvre la zone inter-

tidale et n'est pas affecté par la marée ; ce qui est quasi impossible, puisque le pied de glace est rarement entièrement soudé à la surface sur laquelle il repose³ et que l'eau pénètre sous la couverture glacielle lors du flot, en particulier durant les périodes de vive eau, et soulève la glace.

Les uns soutiennent que le pied de glace est formé par la congélation d'eau projetée à la partie supérieure du rivage, lors du déferlement ; d'autres qu'il est formé par l'agglomération de glaçons ou encore par la congélation *in situ* de la nappe d'eau.

La plupart des auteurs affirment que le pied de glace persiste longtemps sur le rivage en été, mais quelques-uns soutiennent au contraire qu'il fond rapidement au printemps ; certains disent qu'il fond sur place, d'autres qu'il est fragmenté et que les radeaux sont entraînés par les courants.

En somme, la majorité des différences constatées résulte à la fois de définitions incomplètes et de l'existence de plusieurs types régionaux de pied de glace que n'expriment pas clairement la plupart des définitions générales.

Suivant les auteurs, les régions et les milieux (marin ou lacustre), on constate l'existence de nombreux types de pied de glace, de sorte qu'il est souvent difficile de s'y retrouver. Si ces diverses catégories de pied de glace permettent parfois de mieux rendre compte de la réalité, il n'est pas toujours facile de distinguer un type d'un autre, et finalement la définition générale ne s'en trouve guère améliorée.

D'une manière générale, l'on peut définir le pied de glace comme une frange de glace de largeur variée, en bordure des littoraux des régions froides, entièrement ou partiellement soudée au rivage par le fond ou par le côté et affectée ou non par les mouvements verticaux de la nappe d'eau. Il convient aussi de distinguer deux grands types de pied de glace : celui de haut et de bas estran pour les côtes à marée, ou de haut et de bas rivage pour les autres nappes d'eau. Les autres types de pied de glace décrits par divers auteurs constituent des types secondaires, locaux ou régionaux, à l'intérieur de ces deux grandes catégories.

IIème partie : LE PIED DE GLACE DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

Bien qu'il existe de nombreux travaux consacrés aux glaces dans le Saint-Laurent, peu d'auteurs se sont penchés sur la question du pied de glace. Il apparaît donc opportun d'en spécifier les principales caractéristiques.

³ Le cas où il est le mieux soudé à la surface, c'est dans les marais littoraux. Or, ceux-ci sont, par définition, sis à la partie supérieure de la zone intertidale, de sorte que dans la partie inférieure contiguë au marais, le pied de glace subit effectivement les effets de la marée.

A. Définition et classification

Dans l'estuaire du Saint-Laurent, nous avons distingué deux types de pied de glace : celui de haut estran et celui de bas estran (figure 4).

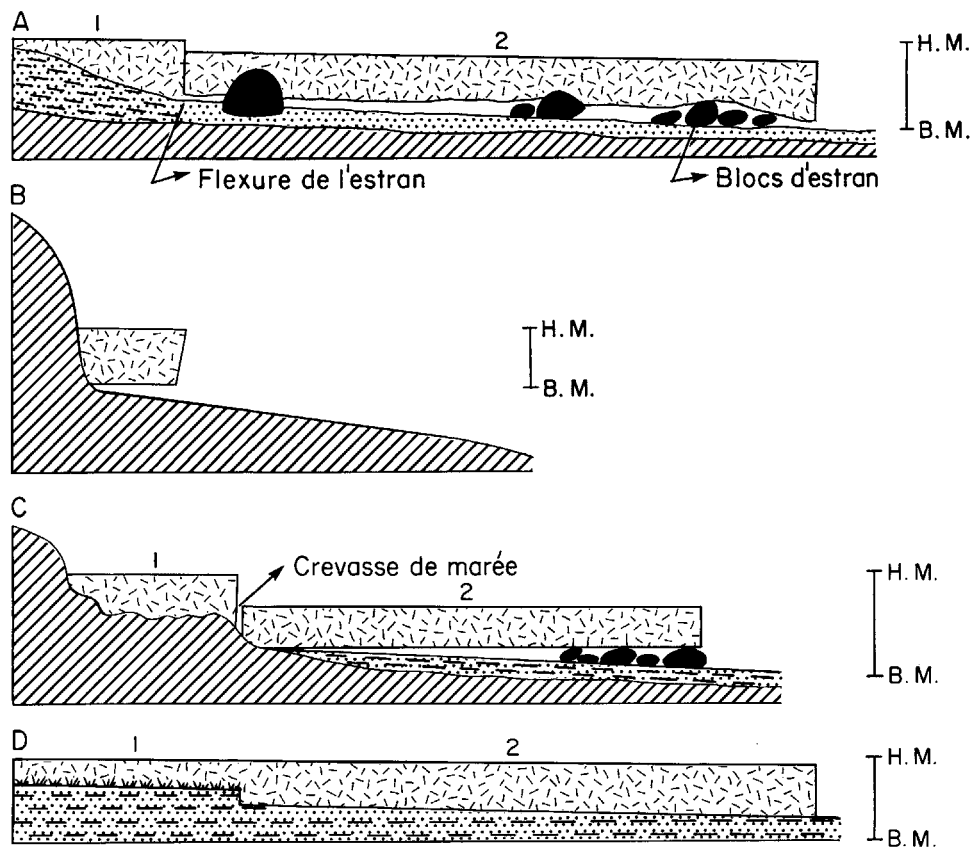


Figure 4 Types de pied de glace dans l'estuaire du Saint-Laurent. a, dans les anses et les baies avec haut et bas de plage ; b, le long des côtes rocheuses accores ; c, le long des côtes rocheuses avec plate-forme d'érosion dans la partie supérieure du rivage et plage dans la partie inférieure ; d, dans les schorres.

1, pied de glace de haut estran ; 2, pied de glace de bas estran. H.M., niveau des hautes mers ; B.M., niveau des basses mers.

Le premier correspond à un étroit liséré de glace soudé à la partie supérieure du rivage qui se forme au début de la saison glacielle et qui disparaît à la fin de celle-ci. Il est soudé au fond et parfois par le côté et n'est pratiquement pas influencé par le mouvement vertical de la marée. Il est en partie composé de glaçons poussés sur le rivage lors du jet de rive et d'eau de congélation projetée lors du déferlement ; mais il comprend aussi de la neige durcie et de la glace provenant de la congélation d'eau de fonte de la neige. Au début de la saison glacielle, il présente souvent



Photo 1 Pied de glace de haut estran au début de la saison glacielle, dans l'estuaire du Saint-Laurent ; accumulation à sa surface de sable et gravier arrachés à la plage et projetés lors du déferlement à marée haute. Sainte-Luce-sur-Mer, 3.4.71.



Photo 2 Pied de glace de haut estran en voie de formation ; accumulation à la limite des hautes mers de petits radeaux de glace et de slush soudés par de l'eau de mer ; incorporation à la glace, lors du déferlement, de sable et gravier de la plage. Sainte-Luce-sur-Mer, 1.1.70.

une topographie accidentée ou chaotique, mais au pléni-glaciel, il offre une surface quasi-uniforme, horizontale ou légèrement inclinée vers la mer (photos 1, 2 et 3).



Photo 3 *Pied de glace au sens strict le long d'une côte rocheuse accore ; illustration classique du pied de glace. Rimouski, 10. 3. 66.*

Le second est beaucoup plus étendu : il couvre la zone intertidale entre la limite des basses mers et la flexure de l'estran ; il se forme plus tard et disparaît plus tôt. Il est formé essentiellement de glace pure (marine, saumâtre ou douce). Il est soumis plus ou moins intensément aux mouvements verticaux de la marée suivant les variations mensuelles de celle-ci. À marée basse, il repose en grande partie sur le fond, mais est rarement soudé au fond, excepté dans les schorres où le chevelu du tapis végétal le retient solidement ; sa partie externe se termine habituellement par une petite falaise de glace. Au pléni-glaciel, il forme une couverture de glace continue, à peu près horizontale, caractérisée parfois par des pustules, des crêtes de pression et diverses autres formes glacielles (photos 4 et 5).

B. Durée

La durée du pied de glace dans l'estuaire du Saint-Laurent varie d'une année à l'autre, de l'amont à l'aval, d'une côte à l'autre et d'un secteur à l'autre de la même côte. On peut cependant définir d'une façon approximative la durée du pied de glace en aval de Québec.



Photo 4 *Pied de glace de bas estran souillé de taches de vase à l'emplacement de glaçons renversés et incorporés à la nappe glacielle. L'Islet, 1.4.72.*

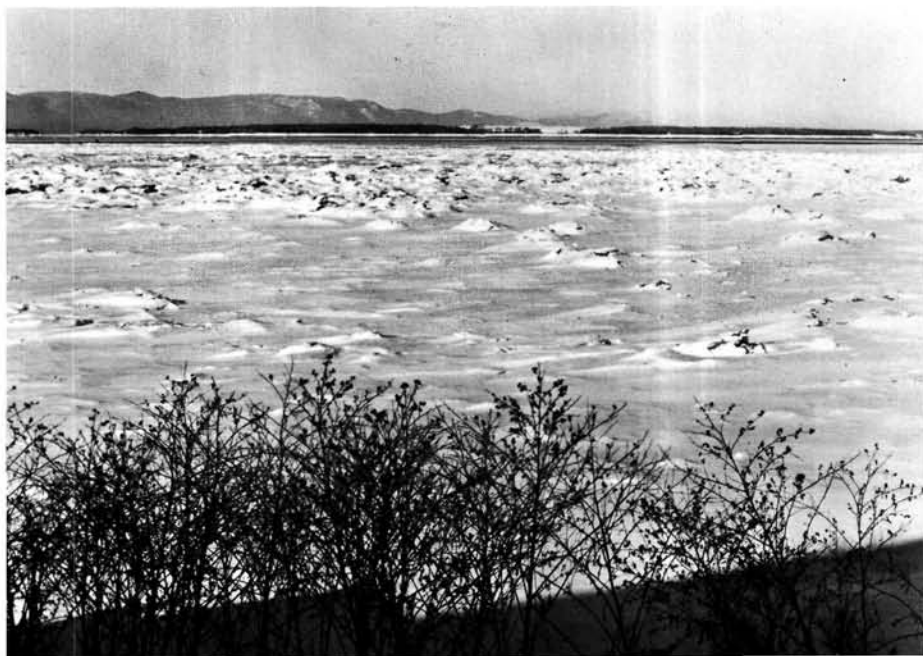


Photo 5 *Pied de glace de bas estran à surface chaotique. Anse de Saint-Vallier, 3.3.68.*

Dans le moyen estuaire, le pied de glace de haut estran commence à se former habituellement à la fin de novembre ou au début de décembre, rarement avant. Sa formation est plus ou moins rapide suivant les conditions climatiques plus ou moins rigoureuses qui prévalent et divers autres facteurs comme la marée et le vent. En général, la durée de formation du pied de glace de haut estran s'étend sur une période de 15 jours à un mois.

Le pied de glace de bas estran se forme après celui de haut estran et la durée de formation est de 25 à 45 jours, suivant les années. Habituellement, dans le moyen estuaire, entre la mi- et la fin décembre, il existe un pied de glace de haut estran, et de la fin décembre à la mi-janvier, le pied de glace de bas estran est en grande partie formé. Le développement maximum du pied de glace de bas estran n'est toutefois pas atteint avant la fin de janvier ; le plus souvent il le sera entre la fin de janvier et le début de mars.

Le pied de glace (de haut ou de bas estran) se développe en premier dans les secteurs du rivage les mieux abrités (anses, baies, schorres et slikkes) ; il est plus précoce de 10 à 15 jours sur la rive sud que sur la rive nord, en raison des pentes plus faibles et de la moindre énergie des vagues et des courants sur la rive sud.

Dans la partie amont de l'estuaire maritime (soit entre le Saguenay et la pointe des Monts), la formation du pied de glace débute avec un retard d'une quinzaine de jours sur le moyen estuaire. Le pied de glace de haut estran se forme de la mi-décembre à la mi-janvier, rarement avant, exceptionnellement plus tard ; le pied de glace de bas estran se développe de la fin décembre à la fin janvier pour atteindre son maximum en février ou en mars. Ici aussi, il existe un décalage d'une quinzaine de jours entre les deux rives, la rive nord étant plus tardivement englacée. À l'instar du moyen estuaire, les secteurs les mieux abrités sont les premiers couverts par le pied de glace.

Le déglacement annuel s'effectue de la fin mars à la mi-avril et coïncide fréquemment avec les périodes des grandes marées de vive eau. La situation est à l'inverse de l'englacement : le moyen estuaire étant déglacé après l'estuaire maritime, la côte sud après la côte nord, les secteurs abrités après les secteurs exposés. Contrairement à l'englacement, le déglacement est progressif de l'aval à l'amont et le pied de glace de bas estran disparaît toujours avant celui de haut estran.

Dans l'estuaire maritime, le pied de glace est peu à peu démembré à partir de la fin mars, le processus pouvant se poursuivre sur une période allant de quelques jours à trois semaines suivant les conditions climatiques (température et vent) et hydrologiques (marée et courants). Une fois le bas estran débarrassé de sa couverture glacielle, les vagues attaquent le pied de glace de haut estran qui parfois persiste sur le rivage jusqu'à sa fonte sur place, notamment lorsque le cycle de la marée ne permet pas à la nappe d'eau de déloger et de prendre en charge les radeaux de glace

localisés à la limite supérieure du rivage. Les schorres sont, en général, les derniers secteurs du littoral à être déglacés et très souvent le pied de glace, à la partie supérieure du schorre, fond sur place.

La situation est analogue dans le moyen estuaire, mais le déglacement se produit une quinzaine de jours plus tard. Ainsi sur la rive sud, il commence au début d'avril pour se terminer à la fin du même mois, rarement après, excepté certaines années durant lesquelles le pied de glace de haut estran peut persister jusqu'à la fin de la première semaine de mai.

Sur la rive nord du Saint-Laurent, le déglacement est en général plus hâtif et plus rapide que sur la rive sud. La dispersion du pied de glace de bas estran est souvent l'affaire de quelques jours, alors que celui de haut estran persiste une semaine de plus ou davantage suivant les conditions locales et les secteurs. Toutefois le secteur compris entre Beauport et le cap aux Oies se comporte comme ceux de la rive sud du Saint-Laurent, en face.

On peut donc retenir qu'il existe un pied de glace sur les rives de l'estuaire du Saint-Laurent durant une période comprise entre 3 et 5 mois par année suivant les secteurs et que la durée de celui de haut estran excède généralement d'un mois celle de celui de bas estran. On se souviendra aussi que l'estuaire du Saint-Laurent étant un milieu dynamique, le pied de glace de bas estran est l'objet de modifications constantes au cours de la saison glacielle. Les déglacements partiels sont fréquents dans certains secteurs du Saint-Laurent notamment de l'estuaire maritime, au cours de l'hiver.

C. Étendue et épaisseur

Sur les rives de l'estuaire du Saint-Laurent, l'étendue du pied de glace varie d'un point à un autre suivant la pente et la topographie locale. D'une manière générale, l'on peut affirmer qu'il est étroit dans les secteurs rocheux escarpés et qu'il est large au droit des baies, des schorres et des slikkes.

Si le pied de glace de haut estran conserve à peu près la même largeur partout et durant toute la saison glacielle, soit quelques dizaines de mètres (20 à 50 m), celui de bas estran est beaucoup plus étendu, soit de 100 à 4 000 m. Sa largeur varie dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire au cours de la saison glacielle et suivant les secteurs. Quelques chiffres aideront à fixer les idées. Ainsi, entre Pointe-au-Père et la baie de Mitis, il atteint 800 à 900 m de largeur ; en face de Rimouski, la couverture glacielle pouvant être considérée comme un pied de glace de bas estran atteint près de 3 000 m, reliant l'île Saint-Barnabé à la rive sud ; au Bic, Cap-à-l'Orignal et Saint-Fabien-sur-Mer, le pied de glace s'étend sur une largeur de 400 à 800 m ; entre Saint-Fabien et le cap Marteau, il est très étroit : 75-100 m ; en face des Trois-Pistoles, il mesure de 1 000 à 2 000 m de largeur ; à l'Île-Verte, il atteint 4 000 m, reliant ainsi l'île Verte à la rive sud ; à Cacouna, il atteint entre 800 et 1 200 m de largeur suivant les endroits ; à la pointe de Rivière-du-Loup, il n'excède guère 400 à 500 m, mais entre

cette pointe et Le Portage, il atteint parfois 1 000 m ; entre Andréville et Kamouraska, il atteint entre 1 000 et 2 000 m de largeur et jusqu'à 3 000 m en face de Kamouraska ; entre La Pocatière et Cap-Saint-Ignace, il mesure entre 300 et 700 m, mais atteint parfois 3 000 m à Montmagny ; entre ce point et Berthier, sa largeur est de 400 à 500 m, alors que dans les baies de Berthier, de Saint-Vallier et de Bellechasse, elle est de 500 à 900 m.

Sur la rive nord du Saint-Laurent, le pied de glace est beaucoup moins étendu en raison de la faible largeur des estrans, de l'absence de baies profondes, des vents dominants soufflant de l'ouest et du nord-ouest, et des courants de marée qui nettoient périodiquement le rivage. On trouve néanmoins au cours de la saison glacielle un étroit pied de glace de 30 à 50 m de largeur à la limite des hautes mers moyennes. Le pied de glace de bas estran est exclusif aux secteurs caractérisés par un large estran. Ainsi au pléni-glacielle, il peut atteindre de 300 à 600 m de largeur entre le cap aux Oies et Saint-Siméon, jusqu'à 4 000 m sur les battures de la pointe aux Alouettes, à l'embouchure du Saguenay, et de 700 à 800 m en face des Grandes-Bergeronnes et dans la baie des Mille-Vaches. Entre Baie-Comeau et Sept-Îles, il excède rarement 100 à 200 m de largeur, excepté dans la baie des Sept-Îles où il peut atteindre 1 000 m. Dans le secteur amont du moyen estuaire, soit entre Beauport et le cap aux Oies, le pied de glace connaît une grande extension atteignant souvent 2 000 m de largeur, au pléni-glacielle, notamment en face de Montmorency.

L'épaisseur du pied de glace dans l'estuaire du Saint-Laurent est beaucoup plus constante que sa largeur. En général, celui de haut estran a une épaisseur comprise entre 40 et 100 cm et celui de bas estran entre 50 et 150 cm. Ce dernier est ordinairement moins épais dans la partie interne (50-75 cm), mais s'épaissit en direction du large où il atteint 100-150 cm, au pléni-glacielle. L'épaisseur du pied de glace de bas estran n'est toutefois pas constante ; elle augmente souvent au droit des seuils, c'est-à-dire là où il se forme des crêtes de pression et aux endroits où il y a des chevauchements. Dans les schorres (Rimouski, Île-Verte, Cacouna, La Pocatière, Les Aulnaies, Montmagny, Île d'Orléans), son épaisseur est en général de 40 à 80 cm ; dans les slikkes (La Pocatière, L'Islet, Montmagny), elle atteint de 50 à 90 cm.

Les quelques valeurs relatives à l'épaisseur et à la largeur du pied de glace fournies ici n'ont rien d'absolu ; elles montrent simplement les variations multiples qui existent et indiquent la nécessité de distinguer entre le pied de glace de bas et de haut estran, si l'on tient à éviter toute méprise.

D. *Modes de formation*

On sait déjà que le pied de glace de haut estran se forme au début de l'englacement et que celui de bas estran se forme plus tard mais néanmoins au cours de la première partie de la saison glacielle. Il reste à préciser les divers modes de formation de l'un et l'autre types.

1. *Le pied de glace de haut estran*

Le pied de glace de haut estran a généralement une origine complexe. Il résulte rarement de la congélation rapide *in situ* d'une nappe d'eau, mais plutôt d'une congélation progressive et à phases multiples de petites quantités d'eau projetées sur la partie supérieure du rivage lors du déferlement. Il débute souvent par l'accumulation de slush et de frazil poussés sur la plage par le jet de rive ; cette bouillie forme un cordon initial, à la limite des hautes mers, dont la taille augmente peu à peu par congélation d'eau projetée lors du déferlement. À ce stade, il y a fréquemment incorporation de matériaux de la plage à la glace (photos 1 et 2). Il peut résulter aussi de l'accumulation, à la limite supérieure du rivage, de glaçons (glace jeune) poussés par le jet de rive et soudés ensemble par la suite par l'eau projetée lors du déferlement. Dans ce cas, la croissance est plus rapide que dans le cas précédent. Dans les secteurs rocheux et relativement escarpés, le pied de glace de haut estran résulte souvent de la congélation progressive de l'eau projetée sur la falaise ou le rivage lors du déferlement. Mais, dans la majorité des cas, il est composé en partie de neige et de glace provenant de l'eau de fonte de cette neige.

2. *Le pied de glace de bas estran*

Le pied de glace de bas estran se forme soit par congélation directe de la nappe d'eau dans les secteurs abrités (les schorres par exemple) ; dans ce



Photo 6 *Pied de glace de bas estran en voie de formation ; glace jeune formée en partie de slush. Sainte-Luce-sur-Mer, 13.12.64.*

cas, il est homogène et formé de glace du même âge. Mais le plus souvent, il résulte de l'agglomération de glaçons et de petites crêtes de slush accumulés sur le rivage par l'action combinée du vent et de la marée et cimentés ensuite par de l'eau de mer (ou saumâtre) ; dans ce cas, il peut être formé de glaces marines et d'eau douce d'âges différents. Ce pied de glace initial présente, en général, une surface irrégulière ou chaotique qu'aplanissent peu à peu des apports d'eau interstitiels et de neige (photo 6). Au cours de la saison glacielle, le pied de glace de bas estran engraisse, par en dessous, par congélation d'eau à la base, lors du jusant, et occasionnellement par congélation d'eau, à la surface, quand il est submergé lors des grandes mers de vive eau. Par ailleurs, les précipitations neigeuses et les pluies hivernales peuvent aussi, à l'occasion, augmenter de quelques centimètres l'épaisseur de la couche de glace. De cette façon, à la fin de la saison glacielle, le pied de glace de bas estran forme un tout apparemment homogène, voire une couverture de glace continue et solide (photos 4 et 7).



Photo 7 *Pied de glace de bas estran en voie de destruction dans une slikke de l'estuaire du Saint-Laurent ; à remarquer la grande horizontalité de la surface et le micro-relief glacial dans la vase, à la limite des basses mers. Montmagny, 15.4.72.*

Il convient de retenir que la majorité des pieds de glace de bas estran du Saint-Laurent sont composites et complexes: formation en plusieurs étapes à partir de radeaux de glace de dimensions variées et d'âges différents soudés ensemble par de l'eau de mer ou saumâtre.

E. *Modes de désagrégation*

Le déglacement des rives du Saint-Laurent débute, en général, à la fin de mars dans le secteur maritime et au début d'avril dans le moyen estuaire et coïncide fréquemment avec les grandes marées de vive eau, les secteurs les plus exposés étant les premiers déglacés, les rentrants profonds, à pente faible et bien protégés étant déglacés avec un retard d'une quinzaine de jours, en moyenne. Dans le moyen estuaire, le déglacement s'étend du début à la fin avril, avec un maximum autour du 15 avril ; dans l'estuaire maritime, il s'étend de la fin mars à la mi-avril avec un maximum autour du 5 avril, suivant les secteurs.

Le processus de déglacement se fait suivant trois modalités :

1) *Par détachements marginaux*, c'est-à-dire par diminution progressive de la largeur du pied de glace de bas estran. Il y a des détachements sporadiques, à la limite externe, de radeaux de glace soulevés par la marée et délogés par les vagues (photo 6). Ce mode de maigrissement linéaire du pied de glace existe d'ailleurs durant toute la saison glacielle, à la marge externe du pied de glace de bas estran, suivant les conditions marégraphiques et anémométriques.

2) *Par détachement massif*, coïncidant avec les grandes mers de vive eau de la fin mars ou du début avril. Les glaces sont alors soulevées massivement par la nappe d'eau qui les fragmente et déloge des radeaux de tailles variées qui sont ensuite entraînés vers le large lors du jusant. L'essentiel du déglacement se fait en 4 ou 5 jours, alors qu'environ 70% du pied de glace est détruit ; les fragments entraînés par les courants vont alors alimenter les glaces de dérive de l'estuaire et du golfe (Brochu, 1960). Il arrive parfois, suivant les conditions marégraphiques et climatiques, que le déglacement avorte ou soit interrompu par une reprise du froid coïncidant avec la période des marées de morte eau. Dans ce cas, la désagrégation du pied de glace est retardée d'une dizaine de jours, comme en 1971. Dans l'estuaire maritime, il se produit parfois des déglacements massifs au cours de la saison glacielle quand les conditions sont favorables, c'est-à-dire lorsque le vent souffle vers le large, qu'on est en période de vive eau et que la température d'hiver est relativement élevée. Les secteurs côtiers les plus exposés sont les plus touchés par ces déglacements hivernaux. Le pied de glace de bas estran subit donc des maigrissements et des engraisements divers au cours de la saison glacielle. Il serait erroné de croire qu'il s'installe au début de la saison froide pour disparaître au printemps figeant ainsi d'une façon temporaire, mais efficace, une grande partie du rivage comme il arrive dans les régions polaires où le pack protège le pied de glace de toute destruction hâtive. Le long des rives du Saint-Laurent et des côtes à marée de forte amplitude, les pieds de glace de bas estran connaissent des dérangements multiples au cours de la saison glacielle.

3) *Par amincissement et fonte sur place*

Les conditions sont telles parfois qu'une partie du pied de glace de bas estran et principalement celui de haut estran échappent au démantèlement par les vagues et la marée. Dans ce cas, la glace, sous la contrainte du soleil, de la pluie, des eaux de ruissellement de la fonte du manteau nival et parfois aussi de l'effet de l'eau minant le pied de glace par en dessous, fond sur place. Cette situation se présente fréquemment dans les schorres.

F. *Aspects morphologiques*

Sur les rives du Saint-Laurent, la surface du pied de glace, au pléni-glacial ou à la fin de la saison glacielle, se caractérise par une uniformité d'ensemble et une grande horizontalité (photos 4 et 7). Si celui de haut estran est peu accidenté, celui de bas estran offre une micro-topographie plus ou moins variée qui est liée en grande partie à l'action des marées. On peut affirmer que les pieds de glace des côtes à marée de forte amplitude sont plus accidentés que ceux des côtes à faible marnage. La morphologie glacielle n'ayant jamais fait l'objet de travaux élaborés en dehors de l'ouvrage de Wright et Priestley (1922), et d'un travail récent de Marsh *et al.* (1973), nous avons jugé utile de décrire ici brièvement les principaux éléments du pied de glace.

1. *La falaise de glace*

Le pied de glace de bas estran se termine habituellement vers le large par une falaise de glace de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres de hauteur. Cet escarpement est en général vertical et parfois caractérisé par une encoche de dissolution à la base, au niveau d'action des vagues. Certaines falaises présentent en outre des formes sculptées, des corniches (photo 8) ou des cavités de quelques mètres de profondeur ana-



Photo 8 Corniche et encoche glacielles dans une crête de glace de 6 m de hauteur, dans la zone intertidale. Sainte-Luce-sur-Mer, 1.1.70.

logues à celles des côtes rocheuses. La falaise caractérise le pied de glace de haut estran uniquement quand celui-ci est bien individualisé ou lorsqu'il n'existe pas de pied de glace de bas estran.

2. *Les ondins glaciels et les crêtes de pression*

Le pied de glace de bas estran est fréquemment caractérisé par la présence de cordons allongés composés de glaçons basculés qui peuvent atteindre de 10 à 15 m de hauteur, 50 à 60 m de largeur et jusqu'à 2 km de longueur (photo 9). Ils se forment principalement à l'emplacement de hauts-fonds, rocheux ou meubles, et de cordons de blocs d'estran. On en trouve parfois 2 ou 3 allongés parallèlement au rivage ; ce sont les ondins glaciels.



Photo 9 Ondin glacial de 5 m de hauteur à la limite des basses mers moyennes. Sainte-Luce-sur-Mer, 9.2.65.

D'autres crêtes plus petites (2 à 4 m de hauteur) résultent de la pression exercée par la marée à l'emplacement de cours d'eau traversant l'estran ou de crevasses de marée, et sont tantôt obliques et tantôt perpendiculaires au rivage, rarement parallèles (photo 10). Enfin, d'autres crêtes de 50 à 150 cm de hauteur se forment à la limite soit externe soit interne du pied de glace par l'accumulation de slush et de petits morceaux de glace soudés ensemble par l'eau projetée lors du déferlement. Ce type de crête semble très répandu sur les rivages du lac Supérieur (Marsh *et al.*, 1973).

3. *Les pustules*

Une forme caractéristique des pieds de glace de bas estran du Saint-Laurent est la formation de petits monticules de 1 à 4 m de hauteur par 2 à 8 m de diamètre, à l'emplacement des blocs d'estran isolés. Ces monticules coniques ou pustules (photo 11) résultent du retroussement et du



Photo 10 Crête de pression perpendiculaire au rivage dans le pied de glace de bas estran ; à remarquer la forte quantité de sédiments dans les glaçons basculés. L'Islet, 1.4.72.



Photo 11 Pustule de pied de glace développé à l'emplacement d'un gros bloc d'estran. Sainte-Luce-sur-Mer, 9.2.65.

basculement des glaces sous l'action de la marée. Elles rappellent par leur morphologie les formes décrites par Wright et Priestley (1922, p. 343) dans l'Antarctique et attribuées à l'échappement d'air et de gaz emprisonnés sous la nappe glacielle, mais différent des « cônes de glace » des Grands Lacs (Marsh, 1973). Elles sont fréquentes sur la rive sud, entre Lévis et la baie de Mitis, et dans la région de Québec. On en trouve aussi sur les côtes de l'Arctique canadien (Wilkinson, 1970, p. 45).

4. *Les ensembles chaotiques*

Le pied de glace de bas estran, notamment sur la rive sud du Saint-Laurent et dans la région de Québec, présente souvent une surface chaotique principalement dans la première partie de la saison glacielle (photo 5). Ce relief irrégulier de 50 à 150 cm de hauteur résulte du basculement ou du chevauchement de radeaux de glace sous l'effet de pressions diverses exercées par la marée et le vent. Les chaos de glace sont irrégulièrement répartis et leur densité est très variable d'un secteur à l'autre ou d'une année à l'autre. Ils semblent toutefois moins abondants que dans certaines régions de l'Arctique canadien.

5. *Les fissures et les crevasses*

Fissures et crevasses caractérisent tous les pieds de glace de bas estran alors qu'elles affectent rarement le pied de glace de haut estran. Il en existe deux grandes catégories : les unes dues à la contraction par le



Photo 12 *Pied de glace de haut estran à la fin de la saison glacielle ; à remarquer les nombreuses crevasses de marée parallèles au rivage. Baie de Bellechasse, 8.4.69.*

froid, les autres dues à l'action de la marée. Les premières sont en général étroites, de type polygonal, et requièrent un pied de glace peu influencé par les mouvements verticaux de la nappe d'eau ; les secondes sont plus larges et grossièrement parallèles au rivage (photo 12) ; elles se produisent lorsque la nappe d'eau affectée par la marée soumet le pied de glace à des mouvements verticaux périodiques. Au cours de la saison glacielle, il y a de fréquents regels d'eau dans ces crevasses, ayant pour résultat une expansion latérale du pied de glace. Dans les secteurs rocheux, on trouve quelquefois une crevasse entre le pied de glace de haut et de bas estran, qui est généralement ouverte à marée basse et qui peut atteindre entre 50 et 200 cm de largeur.

6. *Autres formes mineures*

On observe à la surface du pied de glace, au printemps, diverses formes mineures liées à la fonte. Ce sont tantôt des ruisselets supraglaciels servant à évacuer les eaux de fusion, tantôt des gouttières ou des trous de fonte de dimensions variées, tantôt des cônes de débris, et des reliefs résiduels. Ces formes, par définition, sont éphémères et ne durent que le temps d'une saison glacielle.

Il convient de signaler aussi que durant l'hiver le pied de glace est fréquemment masqué, en partie du moins, par une couverture de neige qui présente elle-même des formes nivéo-éoliennes diverses : rides, dunes, sastrugi, etc.

G. *Le rôle du pied de glace en morpho-sédimentologie*

Le pied de glace joue un rôle important en morpho-sédimentologie littorale en étant à la fois un agent de destruction, de construction et de protection ; rôle que plusieurs auteurs ont déjà souligné laconiquement (Kane, 1856 ; Geikie, 1882 ; Prestwick, 1886 ; Nansen, 1922 ; Wright et Priestley, 1922 ; Zumberge et Wilson, 1953 ; Charlesworth, 1957 ; Corbel, 1958 ; Norrman, 1964 ; Rex 1964) et que nous avons nous-même déjà précisé (Dionne, 1970).

La plate-forme de glace recouvrant le rivage au cours de la saison glacielle (3 à 5 mois sur les côtes du Saint-Laurent, 8 à 12 mois dans l'Arctique canadien), constitue une défense naturelle efficace contre l'action des vagues, des courants, de la marée, et des processus physico-chimiques et biologiques. Les rivages étant en partie soustraits à l'action directe de ces agents du modelé, il en résulte une évolution relativement lente des littoraux des régions froides. Pour quelques auteurs (Wright et Priestley, 1922, p. 322-324 ; Zumberge et Wilson, 1953 ; Marsh *et al.*, 1973), ce serait le principal rôle joué par le pied de glace. Mais ce dernier se révèle en outre un agent d'érosion, de transport et de sédimentation efficace (Dionne, 1970). En plus de prélever des matériaux à la surface de l'estran et d'évacuer les

débris tombés des falaises à sa surface, il érode ou affouille directement les surfaces meubles et rabote ou amenuise les plates-formes rocheuses taillées dans les roches tendres. Il favorise, en outre, la cryoclastie et l'évacuation des débris (Nansen, 1922). Parfois, il donne lieu à une mise en suspension du matériel lorsque les vagues déferlent à son front, ou commande la formation d'un profil d'équilibre équitable mais temporaire (Zumberge et Wilson, 1953, p. 203 ; Norrman, 1964 ; Marsh *et al.*, 1973). Bref, il exerce une action morpho-sédimentologique importante dans les régions froides.

CONCLUSION

La notion de pied de glace ou son équivalent anglais *icefoot* se révèle plus complexe qu'elle ne le semble à première vue. Une partie de cette complexité, cependant, provient du fait que les auteurs ne s'entendent pas ou plus exactement n'ont jamais cherché à s'entendre sur le contenu du terme ou de l'expression, ce qui se traduit forcément par une certaine confusion puisque, pour les uns, le pied de glace correspond à une étroite frange de glace à la limite supérieure du rivage, et pour les autres il englobe l'ensemble de la plate-forme de glace recouvrant la zone intertidale. Une solution consiste à distinguer un pied de glace de haut estran (pied de glace *sensu stricto*) et un pied de glace de bas estran (pied de glace *sensu lato*), comme nous l'avons fait pour le Saint-Laurent. Cette distinction paraît fondamentale pour éviter toute méprise. Les études se rapportant au pied de glace étant relativement peu abondantes, cette mise au point, en plus de clarifier une notion ambiguë, aura peut-être le mérite de susciter l'intérêt de chercheurs plus nombreux sur une forme apparemment bien connue mais dont on parle peu dans la majorité des ouvrages de géomorphologie littorale, notamment ceux de langue française.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMSTRONG, T., ROBERTS, B. et SWITHINBANK, C. (1966) *Illustrated glossary of snow and ice*. Cambridge, Scott Polar Research Inst., 60 p., 79 phot.h.t. Sp. Publ. no 4.
- BENTHAM, R. (1937) The ice foot, dans *Arctic Journeys — The Story of the Oxford University Ellesmere Land Expedition, 1934-35*, E. SHACKLETON (éd.). London, Holder & Stoughton et New York, FARRAR & Rinehart, p. 328-332.
- BROCHU, M. (1960) *Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive de l'estuaire et de la partie nord-est du golfe Saint-Laurent, hiver 1957-58*. Ottawa. 93 p., 24 fig. Étude Géogr., no 24.
- CAYEUX, A. de (1969) *La science de la terre*. Paris, Bordas. 799 p., 777 fig., 19 pl. h.t.
- CHARLESWORTH, J.K. (1957) *The Quaternary Era (with special reference to its glaciations)*. London, Edward Arnold, 2 vol., 1700 p., 326 fig., 32 pl.h.t.
- CORBEL, J. (1958) Les karsts de l'Est canadien. *Cah. Géogr. Qué.*, no 4, p. 193-216, 18 fig.
- DIONNE, J.C. (1970) *Aspects morpho-sédimentologiques du glacié, en particulier des côtes du Saint-Laurent*. Québec, Centre Rech. For. Laurentides. 324 p., 17 fig. Rapp. infor. Q-F-X-9.
- DIONNE, J.C. (1972) *Vocabulaire du glacié (Drift ice terminology)*. Québec, Centre Rech. For. Laurentides. 47 p., 1 fig. Rapp. inform., Q-F-X-34.
- DIONNE, J.C. (1973) Liste bibliographique des dictionnaires, lexiques et vocabulaires des Sciences de la Terre. *Rev. Geogr. Montréal*, 27 (4) (à paraître).
- FEYLING-HANSEN, R.W. (1953) Brief account of the ice-foot. *Norsk Geogr. Tidssk.*, 14 (1-4) : 45-52, 4 fig.
- GARY, M., McAFEE, R. et WOLF, C.L. éd. (1972) *Glossary of Geology*. Washington, Amer. Geol. Institute. 858 p.

- GEORGE, P., éd. (1970) *Dictionnaire de la géographie*. Paris, Presses Univ. France. 448 p., 57 fig.
- GREENE, H.G. (1970) Microrelief of an arctic beach. *Jour. Sed. Petrol.*, 40 (1) : 419-427, 14 fig.
- HAMELIN, L.E. (1959) *Dictionnaire français-anglais des glaces flottantes*. Québec, Univ. Laval, Inst. Géogr., 83 p. Travaux non publ., no 9.
- HAMELIN, L.E. et COOK, F.A. (1967) *Le périglaciaire par l'image/ Illustrated glossary of periglacial phenomena*. Québec, Presses Univ. Laval. 237 p.
- JOYCE, J.R.F. (1950) Notes on ice-foot development, Nenny Fjord, Graham Land, Antarctica. *Jour. Geol.*, 58 (6) : 646-649, 2 fig.
- KANE, E.K. (1856) *Arctic Explorations*. Philadelphia, Childs & Peterson, et London, Trübner. Vol. 2, 467 p., 300 fig.
- KOCH, L. (1928) Contribution to the glaciology of North Greenland. *Medd. Grønland*, vol. 65, p. 181-464, 140 fig.
- MARSH, W.M., MARSH, B.D. et DOZIER, J. (1973) Formation, structure, and geomorphic influence of Lake Superior icefoots. *Amer. Jour. Sci.*, 273 (1) : 48-64, 5 fig., 2 pl.
- McCANN, S.B. et CARLISLE, R.J. (1972) The nature of the ice foot on the beaches of Radstock Bay, South-west Devon Island, N.W.T., Canada in the spring and summer of 1970. *Inst. British Geogr.*, Sp. Publ. no 4, p. 175-186, 6 fig.
- MOORE, W.G. (1958) *A Dictionary of Geography*. Harmondsworth (Middlesex), Penguin Books, 191 p.; aussi New York, Praeger et London, Adam & Charles Black; 246 p., 56 fig., 32 phot.h.t., 1967.
- NANSEN, F. (1922) *The strandflat and isostasy*. Vidensk. Skr., Math. Natur. Kl., no 11, 313 p., 169 fig.
- NORDENSKJÖLD, O. et MECKING, L. (1928) *The Geography of the Polar Regions*. New York, Amer. Geogr. Soc. 359 p., 108 fig. Sp. Publ., no 8.
- NORRMAN, J.O. (1964) *Lake Vättern. Investigations of shore and bottom morphology*, *Geogr. Annaler*, 46 (1-2) : 238 p., 150 fig.
- PRESTWICH, J. (1886) *Geology*. vol. 1 : *Chemical and Physical*. Oxford, Clarendon Press. 477 p., 218 fig.
- RAMSAY, A.C. (1878) *Physical Geology and Geography of Great Britain*. London, Stanford, 5e éd., 639 p.
- REX, R.W. (1964) Arctic beaches, Barrow, Alaska, dans MILLER, R.L., éditeur : *Papers in Marine Geology; Shepard commemorative volume*. New York, Macmillan, p. 384-400, 8 fig.
- RICE, C.M. (1940) *Dictionary of Geological terms (exclusive of stratigraphic formations and paleontologic genera and species)*. Ann Arbor (Michigan), Edwards Brothers. 463 p.
- SCHIEFERDECKER, A.A.G., éd. (1959) *Geological Nomenclature*. Groningen, Roy. Geol. Mining Soc. Netherlands, 523 p.
- STAMP, D., éd. (1961) *A Glossary of Geographical terms*. London, Longman, Green & Co. XXX + 539 p.
- STAMP, D., éd. (1966) *Longmans Dictionary of Geography*. London, Longman, Green & Co., XV + 492 p.
- SWAYNE, J.C. (1956) *A concise Glossary of Geographical terms*. London, George Philip. 164 p.
- U.S. NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE (1952) *A functional Dictionary of ice terminology*. Washington. 88 p., 110 fig. H.O. Publ. no 609.
- WILKINSON, D. (1970) *The Arctic Coast*. Toronto, Natural Sci. Canada. 160 p. 235 fig.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1970) *Sea-ice nomenclature*. Geneva, x + 147 p. W.M.O. Publ. no 259.
- WRIGHT, C.S. et PRIESTLEY, R.E. (1922) *Glaciology; British (Terra Nova) Antarctica Expedition 1910-1913*. London, Harrison, 581 p., 179 fig., 291 pl.
- ZUMBERGE, J.H. et WILSON, J.T. (1953) Effect of ice on shore development. Berkeley, *Proc. 4th Conf. Coastal Eng.*, p. 201-206, 2 fig.

RÉSUMÉ

DIONNE, Jean-Claude : La notion de pied de glace (Icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Dans une première partie, l'auteur fait une revue des définitions et des classifications existantes du pied de glace, montrant que la notion de pied de glace est imprécise, souvent ambiguë et diffère fréquemment d'un auteur à l'autre. Dans la seconde, il définit et décrit le pied de glace dans l'estuaire du Saint-Laurent en distinguant deux grands types de pied de glace : celui de haut et de bas estran. Il souligne aussi son rôle protecteur et morpho-sédimentologique.

**MOTS-CLÉS : Géomorphologie littorale, Morpho-sédimentologie, Glace, Pied de glace
Régions froides, Estuaire du Saint-Laurent**

ABSTRACT

**DIONNE, Jean-Claude: The notion of Icefoot with special reference to the
St. Lawrence Estuary.**

In the first part, a review of the existing definitions and classification of the icefoot is made, showing that the icefoot notion is inaccurate, often ambiguous and not the same for everyone. In the second part, a definition and a description of the icefoot in the St. Lawrence Estuary are offered. Two main types of icefoot are distinguished: the upper and the lower strand icefoot. The protective and the morpho-sedimentological role of this feature is also emphasized.

**KEY WORDS : Coastal Geomorphology, Morpho-sedimentology, Ice, Icefoot Cold Regions,
St. Lawrence Estuary**