

# Typologie morpho-génétique des marelles du marais littoral de la baie de Kangiqsualujuaq, estuaire du George, Québec nordique

## Morphogenetic Classification of Tidal Marsh Pans in Kangiqsualujuaq Bay, George River Estuary, Nouveau-Québec

## Morpho-genetische Typologie der kleinen Pfühle des Küsten-Morasts der Kangiqsualujuaq-Bucht, Mündung des George-Flusses, nordisches Québec

Alain Fournier, Michel Allard and Maurice K.-Seguin

Volume 41, Number 1, 1987

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/032664ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/032664ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (print)

1492-143X (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Fournier, A., Allard, M. & K.-Seguin, M. (1987). Typologie morpho-génétique des marelles du marais littoral de la baie de Kangiqsualujuaq, estuaire du George, Québec nordique. *Géographie physique et Quaternaire*, 41(1), 47–64. <https://doi.org/10.7202/032664ar>

Article abstract

Very large spring tides with a range of 12 m characterize the George River Estuary. In the upper marsh, unfrequent tidal covering and significant unsheltered areas permit the development of small mounds and heaved marsh surfaces. In the Kangiqsualujuaq salt marsh, processes related to intertidal ground frost, shore-ice processes and sedimentological processes due to waves, tidal currents and overland flow are responsible of the existence of 170 pans. Ten types of pans are defined. They are distributed along the intertidal topographical gradient including three zones : lower marsh, upper marsh without frost and upper marsh underlain by permafrost. Pans formed by processes related to permafrost are located at the highest parts on the intertidal zone in areas sheltered from waves and ice drifting. Pans originating from hydraulic and sedimentological processes are concentrated in exposed sites that lie opposite of the opening of the bay. Temperature and salinity regimes of the pans depend on the frequency of tidal submersions and precipitations, as well as on topographic situation and basin morphology.

# TYPOLOGIE MORPHO-GÉNÉTIQUE DES MARELLES DU MARAIS LITTORAL DE LA BAIE DE KANGIQSUALUJUAQ, ESTUAIRE DU GEORGE, QUÉBEC NORDIQUE

Alain FOURNIER, Michel ALLARD et Maurice K.-SEGUIN; les deux premiers auteurs: Département de géographie et Centre d'études nordiques; le troisième auteur: Département de géologie et Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

**RÉSUMÉ** Des marées d'un très grand mar-  
nage (12 m aux vives-eaux) caractérisent  
l'estuaire du George. Dans la partie supérieure  
des marais littoraux, la faible fréquence des  
submersions et l'importance des surfaces à  
découvert permettent la croissance de gel  
intertidal sous forme de buttes de pergélisol  
et de gel saisonnier épais. Sur le marais littoral  
de la baie de Kangiqsualujuaq, la dynamique  
du gel intertidal, l'activité glacielle et l'action  
sédimentaire des vagues, de la marée et de  
l'eau de ruissellement sont responsables de  
la formation et du développement de plus de  
170 marelles littorales. On peut distinguer  
10 types de marelles se répartissant selon  
le gradient inondation sur le marais, qui se  
divise topographiquement en marais inférieur,  
en marais supérieur sans gel intertidal et en  
marais supérieur avec gel intertidal. Les mar-  
relles créées par l'action du gel se trouvent  
dans les parties les plus hautes du marais  
qui sont protégées de l'action des vagues et  
des glaces flottantes. Les marelles produites  
par la dynamique sédimentaire de la baie se  
situent dans les secteurs exposés aux agents  
littoraux, surtout dans l'axe de l'ouverture de  
la baie sur l'estuaire. Le régime de tempé-  
rature et de salinité des marelles dépend de  
facteurs externes, comme la fréquence de  
submersion par la marée ou les précipitations,  
mais également de facteurs internes, comme  
la situation topographique et la morphologie  
des bassins.

**ABSTRACT** *Morphogenetic classification  
of tidal marsh pans in Kangiqsualujuaq Bay,  
George River Estuary, Nouveau-Québec.*  
Very large spring tides with a range of 12 m  
characterize the George River Estuary. In the  
upper marsh, unfrequent tidal covering and  
significant unsheltered areas permit the  
development of small mounds and heaved  
marsh surfaces. In the Kangiqsualujuaq salt  
marsh, processes related to intertidal ground  
frost, shore-ice processes and sedimento-  
logical processes due to waves, tidal currents  
and overland flow are responsible of the  
existence of 170 pans. Ten types of pans are  
defined. They are distributed along the in-  
tertidal topographical gradient including three  
zones: lower marsh, upper marsh without frost  
and upper marsh underlain by permafrost.  
Pans formed by processes related to perma-  
frost are located at the highest parts on the  
intertidal zone in areas sheltered from waves  
and ice drifting. Pans originating from hydraulic  
and sedimentological processes are concen-  
trated in exposed sites that lie opposite of  
the opening of the bay. Temperature and sal-  
inity regimes of the pans depend on the fre-  
quency of tidal submersions and  
precipitations, as well as on topographic si-  
tuation and basin morphology.

**ZUSAMMENFASSUNG** *Morpho-genetische  
Typologie der kleinen Pfühle des Küsten-  
Morasts der Kangiqsualujuaq-Bucht, Mün-  
dung des George-Flusses, nordisches  
Québec.* Gezeiten mit sehr hoher Fluthöhe  
(12 m Springtiden) charakterisieren die Mün-  
dung des George-Flusses. Im oberen Teil der  
Küsten-Moräste ermöglichen die geringe  
Überschwemmungs-frequenz und erhebliche  
ungeschützte Oberflächen die Zunahme von  
Gezeitenfrost in Form von Dauerfrost-Hügeln  
und von dichtem, saisonbedingtem Frost. Auf  
dem Küsten-Morast der Bucht von Kangiq-  
sualujuaq sind die Dynamik des Frosts zwis-  
chen den Gezeiten, die Frost-Aktivität und die  
sedimentologische Wirkung der Wellen, der  
Gezeiten und des rieselnden Wassers ver-  
antwortlich für die Bildung und Entwicklung  
von mehr als 170 kleinen Küsten-Pfählen.  
Man kann 10 Typen von kleinen Pfählen un-  
terscheiden, die sich entsprechend dem  
Überschwemmungsgefälle über den Morast  
verteilen, welcher sich topographisch in un-  
teren Morast, höheren Morast ohne Zwis-  
chengezeitenfrost und höheren Morast mit  
Zwischengezeitenfrost teilt. Die kleinen, durch  
Frostwirkung geformten Pfühle befinden sich  
in den höchsten Teilen des Morasts, die vom  
Einfluß der Wellen und des Treibeises ge-  
schützt sind. Die durch die Sediment-Dynamik  
der Bucht geschaffenen kleinen Pfühle befin-  
den sich in den Abschnitten, die den Einflüs-  
sen der Küste ausgesetzt sind, vor allem in der  
Achse der Öffnung der Bucht auf die Fluß-  
Mündung. Das System der Temperatur und  
des Salzgehalts der kleinen Pfühle hängt von  
äußeren Faktoren ab, wie die Häufigkeit der  
Überschwemmung durch die Flut oder die  
Niederschläge, aber auch von inneren Fak-  
toren, wie die topographische Lage und die  
Morphologie der Becken.

## INTRODUCTION

Les marelles, cuvettes, dépressions ou petits plans d'eau de tous genres sont des formes couramment observables dans les marais salés des régions froides et tempérées. Phénomènes à la fois géomorphologiques et écologiques, les marelles littorales ont été à plusieurs reprises mentionnées dans les études sur les littoraux tempérés à hiver froid. Au Québec, l'origine glacielle est souvent retenue pour expliquer la présence de marelles dans les marais littoraux. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, PRAT (1933); HAMELIN et CAILLEUX (1966); CAILLEUX et HAMELIN (1968); DIONNE (1968, 1969, 1970, 1972); CHAMPAGNE (1978); ALLARD et CHAMPAGNE (1980) et ALLARD (1981), les ont expliquées par la dynamique des glaces flottantes. GAUTHIER et GOUDREAU (1983), dans leur étude des aspects biologiques des marelles du marais de l'Isle-Verte acceptent cette explication pour le marais inférieur et proposent d'autres origines possibles pour le marais supérieur.

Les littoraux du Québec subarctique ont été aussi l'objet d'un certain nombre de recherches, en particulier par DIONNE (1974a, 1974b, 1975, 1976a, 1976b, 1976c, 1978a, 1978b) dont les travaux portent principalement sur les phénomènes glaciels des littoraux de la baie de James. LAMOUREUX et ZARNOVICAN (1974) mentionnent également le rôle des glaces flottantes dans la création de marelles littorales.

Les côtes de la baie d'Ungava ont été, de leur côté, beaucoup moins étudiées. Les principales observations géomorphologiques concernent le littoral occidental de la baie et portent surtout sur le transport et l'agglomération de blocs glaciels (GANGLOFF *et al.*, 1976; GANGLOFF, 1977; LAURIOL et GRAY, 1980; LAURIOL, 1982). La géomorphologie littorale de la côte orientale de la baie d'Ungava n'a donné lieu jusqu'à présent qu'à quelques travaux préliminaires (PELLETIER, 1986; PELLETIER et ALLARD, 1985; PELLETIER et GAUTHIER, 1986; tous trois concernant la baie de Kangiqsualujuaq).

L'objectif principal de cette étude, effectuée sur le terrain en août 1984, est d'identifier et de décrire différents types de marelles observés sur un estran de l'estuaire du fleuve George puis de tirer, par suite de l'analyse de leur distribution dans le marais, des conclusions sur la dynamique du gel, des glaces et des vagues de ce milieu intertidal subarctique. Le développement des marelles littorales, en plus de dépendre de façon attendue de l'action glacielle, est fortement influencé par la dynamique du gel intertidal et par la très grande amplitude des marées.

## LE MILIEU PHYSIQUE

La baie de Kangiqsualujuaq (58°41'N, 65°47'W) est située sur la rive est de l'estuaire du fleuve George, à proximité du village de même nom (fig. 1). La zone intertidale couvre une superficie d'environ 1,75 km<sup>2</sup>. Elle se compose d'un marais intertidal frangeant le rivage dans la partie supérieure et d'une vaste vasière à blocs dans la partie inférieure.

D'une longueur de 2 900 m et d'une largeur variant de 10 m à 270 m, le marais s'étend aussi le long de deux petites rivières qui se déversent dans la baie à chacune de ses extrémités. Deux ruisseaux entaillent également le marais, y entretenant des chenaux par lesquels remonte la marée (fig. 2.1).

Le régime marégraphique est de type semi-diurne et macrotidal. Le marnage de la partie médiane de l'estuaire, tel que mesuré par les auteurs à l'aide d'un marégraphe en fonctionnement pendant 180 jours, est de 5,5 m aux mortes-eaux et atteint 12 m aux grandes mers de vives-eaux. Les niveaux extrêmes n'ont pu être déterminés avec une précision supérieure à 30 cm, en raison de l'influence non quantifiable des débits de crue du fleuve sur les mesures et de l'absence d'un repère de nivellement officiel et sûr. Le marnage de l'estuaire du George est d'une amplitude comparable à celui de l'embouchure du Koksoak (SERVICE HYDROGRAPHIQUE CANADIEN, 1983) et quelque peu inférieur à celui de la baie aux Feuilles (14,8 m selon le S.H.C. et 17 m d'après une extrapolation de données bathymétriques par LAURIOL, 1982).

Le climat de l'estuaire du George est caractérisé par des amplitudes thermiques journalières faibles en été mais fortes

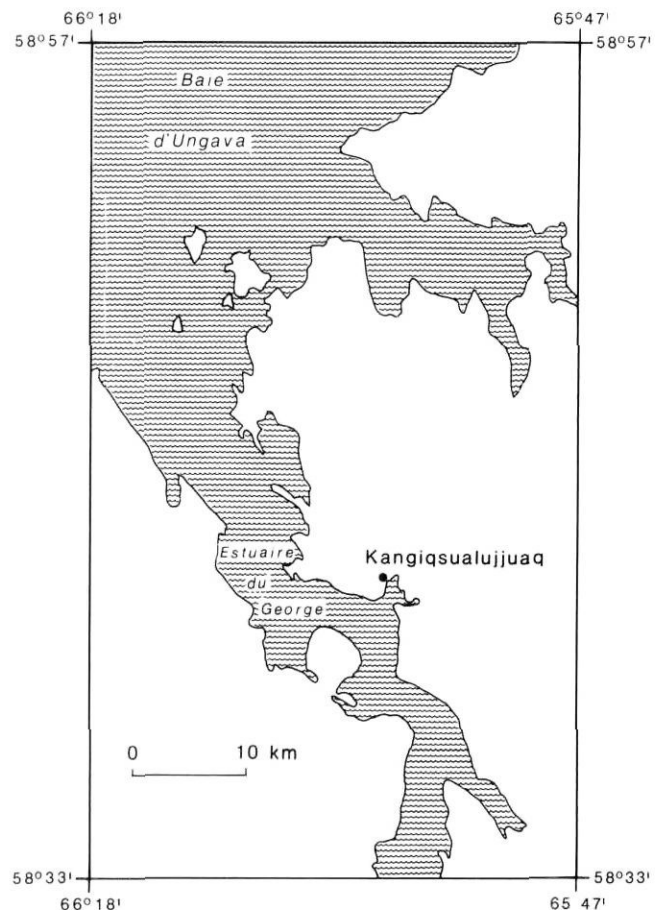


FIGURE 1. Localisation de la baie de Kangiqsualujuaq le long de l'estuaire moyen du George.

Location of Kangiqsualujuaq Bay along George River middle estuary.

en hiver et une saison de gel se poursuivant jusqu'en juin (THÉRIAULT, 1983). La température moyenne annuelle peut être estimée à  $-5,3^{\circ}\text{C}$ ; celle de janvier à  $-22^{\circ}\text{C}$  et celle de juillet à  $9^{\circ}\text{C}$ . Les précipitations totales annuelles sont estimées entre 350 et 400 mm, dont 40 à 45 % pour la fraction nivale (WILSON, 1971). Les vents, enregistrés par la station météorologique du Centre d'études nordiques de Kangiqsualujuaq, proviennent en dominance de l'OSO. Cette direction correspond à l'ouverture de la baie sur l'estuaire, lui assurant un fetch de 23 km lors des pleines mers. Suivant cette direction,

les vents forts de tempêtes entraînent des vagues de plus de 1 m d'amplitude qui pénètrent dans la baie et qui peuvent, à marée haute, atteindre la saulaie littorale.

L'estuaire du George recoupe la limite septentrionale de la toundra forestière. Autour de la baie de Kangiqsualujuaq, le domaine maritime de l'épinette noire et du mélèze laricin occupe la presque totalité des surfaces boisées (PAYETTE, 1983). Les aires forestières se trouvent en milieux protégés, dans les vallées.

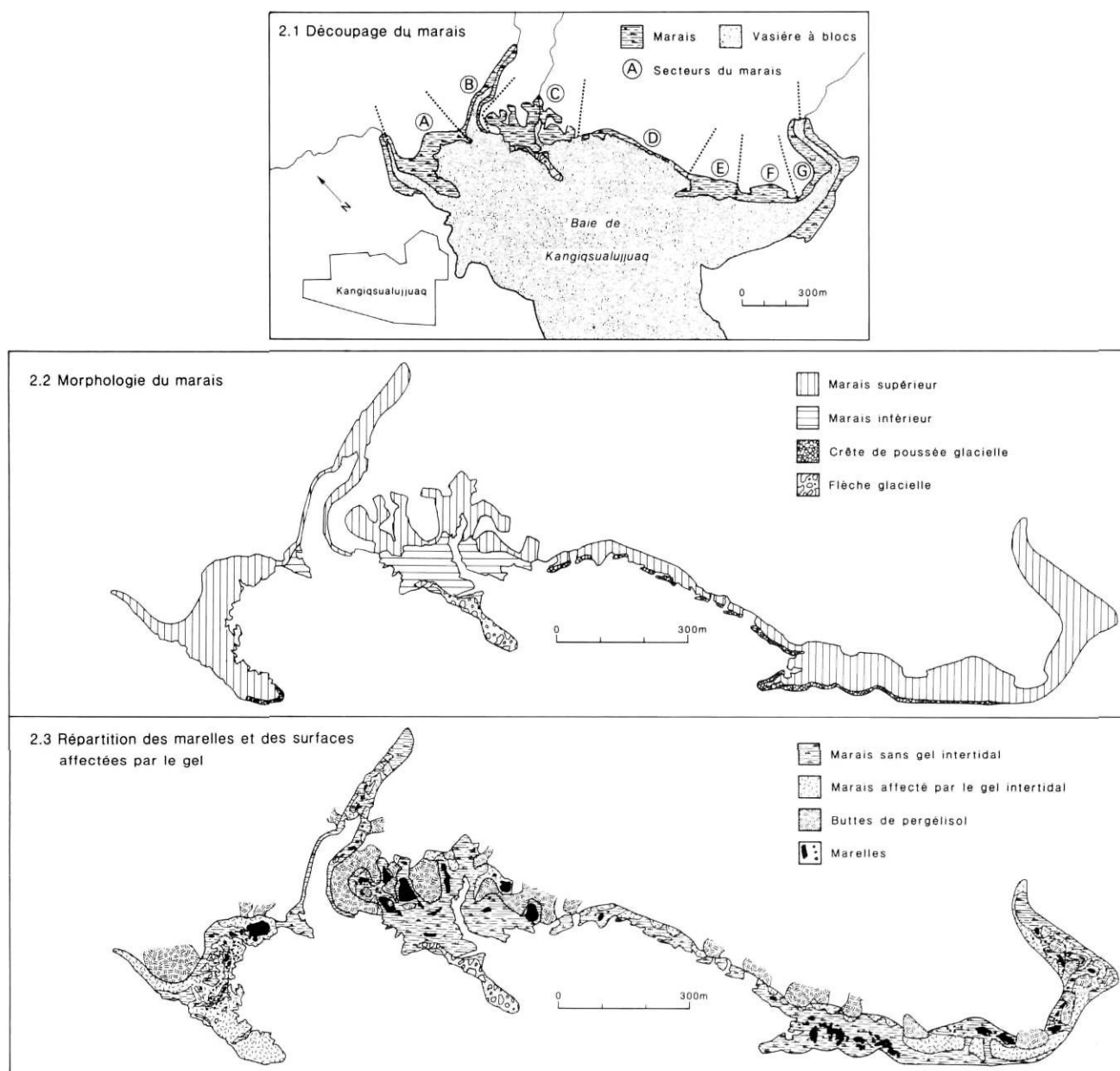


FIGURE 2. Le marais de la baie de Kangiqsualujuaq. 2.1) La vasière, le marais et son découpage en 7 secteurs. 2.2) Le marais inférieur et le marais supérieur. La flèche et les segments de crête de poussée glacielle se répartissent à l'avant des secteurs ouverts sur l'estuaire. 2.3) La répartition des marelles et des surfaces affectées par le gel. La proportion de la surface du marais affectée par le gel décroît des extrémités vers le centre.

Kangiqsualujuaq Bay tidal marsh. 2.1) The tidal flat and the tidal marsh shown in sections. 2.2) The lower and the upper marshes. Transverse and ice-pushed ridges located on the opened parts of the marsh. 2.3) Distribution of the salt marsh pans and the ground frost areas. The marsh affected by ground frost decreases from the extremities towards the center.



La végétation du littoral est répartie sur un marais intertidal composé de nombreuses espèces de carex et de graminées. Dans l'ensemble le marais est étagé en deux niveaux (fig. 2.2):

- 1) Un niveau inférieur situé entre  $-2,70$  m et  $-4$  m sous le niveau des pleines mers de vives-eaux (PELLETIER et GAUTHIER, 1986) sur lequel *Puccinellia phryganodes* est l'espèce dominante, voire presque unique. Ce niveau, correspondant en situation à celui de *Spartina alterniflora* sur des marais de milieux tempérés, se trouve à la marge de la vasière, en contrebas d'une micro-falaise ou sur une flexure topographique, située au niveau des pleines mers moyennes.
- 2) Un niveau supérieur, se trouvant entre le niveau des pleines mers moyennes et les lasses des plus hautes marées et caractérisé par une plus grande variété floristique, comprenant entre autres: *Carex subspathacea*, *Plantago maritima*, *Parnassia palustris*, *Carex aquatilis* et *Calamagrostis canadensis*. Le nombre d'espèces s'accroît progressivement du marais vers la saulaie en raison de la décroissance du temps de submersion marine et de l'accroissement des apports d'eau douce du milieu terrestre.

Divers forages obtenus dans le cadre d'un projet de recherche plus vaste, indiquent que les dépôts intertidaux reposent sur des argiles de la mer D'Iberville, en conformité avec la stratigraphie régionale. Les sédiments intertidaux de la vasière à blocs correspondent à un diamicton compact composé de vase, de blocs et de sédiments glaciels hétérométriques. Les sédiments du marais consistent en une succession diffuse de laminations de limons à sable fins, riches en matière organique noirâtre. On trouve au sein de ce substrat intertidal quelques blocs et semis glaciels sablo-caillouteux.

Selon la nouvelle carte de distribution du pergélisol au Québec nordique (ALLARD et SEGUIN, 1987), l'estuaire moyen du George fait partie de la zone de pergélisol discontinu et répandu, c'est-à-dire affectant au moins 50 % du territoire. La basse terrasse à laquelle s'adosse l'estran est constituée d'argiles marines ponctuées d'une douzaine de buttes de pergélisol<sup>1</sup> de 3 m à 11 m de hauteur. Les marées de vives-eaux remontant dans les ruisseaux isolent parfois quelques-unes de ces buttes (fig. 2.3).

## MÉTHODES

Nous avons recensé les marelles sur le marais de la baie de Kangisualujuaq de façon systématique en faisant une description morphologique appuyée sur la caractérisation du milieu auquel elles appartiennent. L'analyse des observations ainsi recueillies a permis d'élaborer une typologie descriptive et génétique des marelles littorales. Un fichier descriptif des marelles (108 décrites plus une soixantaine d'autres inventoriées) a été mis au point. Chacune d'entre elles a été localisée sur une photographie aérienne, numérotée puis décrite. Les

1. Les buttes de pergélisol (ALLARD et SEGUIN, 1987) sont également appelées paises minérales (DIONNE, 1978b) et buttes minérales cryogènes (PAYETTE et SEGUIN, 1979).

caractéristiques notées sont les dimensions (longueur, largeur, profondeur), le découpage du contour (parois et bordure de végétation), la situation topographique sur le marais, la répartition des plantes, les sédiments associés, les indices d'érosion ainsi que les modalités apparentes de remplissage et de drainage. Dans plusieurs cas, la température et la salinité de l'eau ont été mesurées à maintes reprises à l'aide d'un salinomètre de terrain (YS1, modèle 33).

La terminologie morphologique (fig. 3) a été élaborée préalablement à toute description afin d'en assurer l'homogénéité. Le terme «paroi» désigne la dimension verticale d'un contour de bassin, alors que le terme «bordure» en représente la dimension horizontale. Les termes amont et aval réfèrent à la position proximale ou distale d'une marelle ou d'une partie de marelle par rapport au niveau des pleines mers de vive-eau.

Nous croyons que le terme marelle ne devrait être réservé qu'aux plans d'eau littoraux, tandis que le terme mare ne devrait désigner que les plans d'eau terrestres, quelles qu'en soient les dimensions.

La typologie des marelles ne peut uniquement être définie par la seule reconnaissance de caractères morphologiques. Une grande variété de formes peut être engendrée par un même processus. Après avoir identifié quelles sont les principales forces agissant sur le marais, l'étude simultanée des formes des bassins, de leur position topographique, de leur agencement et des autres phénomènes rencontrés à la surface du marais permet d'établir une typologie des marelles basée sur: 1) leur agent principal de formation; 2) les processus en cause; 3) les formes qu'ils occasionnent. Le tableau I présente les types de marelles classées de cette façon. La figure 4 illustre quant à elle les processus liés à la formation et au développement des marelles.

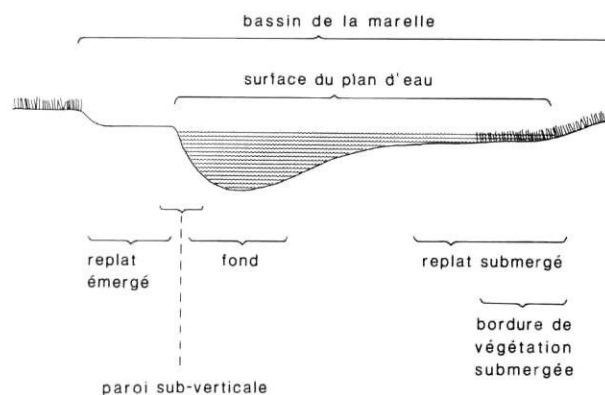


FIGURE 3. Composantes morphologiques générales d'une marelle. L'état de submergence ou d'émergence des replats dépend directement du niveau de l'eau dans la marelle. La surface totale de la marelle tient compte des plans d'eau libre et des aires de végétation submergées.

*Morphological constituents of a pan. The water level in a pan determines directly the level of immersion of the bordering shelves. The total area of a pan includes the water surface and the zones of submerged vegetation.*

TABLEAU I

*Typologie des marelles, classées selon les principaux processus qui en sont à l'origine*

TYPOLOGIE DES MARELLES DE LA BAIE DE KANGIJSUALUJUAQ		
PROCESSUS MAJEURS	TYPES	CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES
ACTIVITÉ GLACIELLE	Marelles d'arrachement glaciaire	de formes variables, souvent oblongues fond plat, parois sub-verticales plus long axe : 0,1 à 1,5 m.
	Marelles à blocs glaciaires	souilles et cavités de poussée bassins en corbeille plus long axe : 0,2 à 0,5 m.
	Marelles de raclage glaciaire	rainures superficielles fond incliné, parois négligeables plus long axe : 8 à 10 m.
DYNAMIQUE DU GEL INTERTIDAL	Marelles de thermokarst intertidal	profil convexo-concave bassins marginaux, parois arrondies plus long axe : 0,3 à 30 m.
	Marelles de soulèvement géglacial	contour du bassin arrondi présence de blocs ou de bassins emboîtés plus long axe : 0,3 à 1 m.
	Marelles de décrochement par thermo-érosion	au droit des fissures de tension bassins en "V", étroits et étagés plus long axe : 0,5 à 1 m.
HYDRODYNAMISME ET ÉCOULEMENT DE SURFACE	Marelles de chenal de marais intertidal	bassins ovoïdes en échelon fond plat, parois négligeables plus long axe : 0,2 à 8 m.
	Marelles de creux topographiques	de formes variables, à bassins concaves lisières de végétation submergée plus long axe : 1 à 50 m.
	Marelles de lacune de sédimentation	longues et peu profondes digitées et alignées plus long axe : 1 à 75 m.
	Marelles de décrochement	au droit de fissures de tension profil en "V", étroits et étagés plus long axe : 0,5 à 3 m.

Après avoir constaté qu'il existait d'étroites relations spatiales entre la présence du gel intertidal et celle des marelles, il a été décidé d'en cartographier la distribution spatiale sous le marais. En plus de la présence d'indices morphologiques évidents comme les bombements géglaciaux ou les polygones, des sondages manuels avec une tige munie d'une thermistance ont été effectués afin de vérifier l'existence de gel sous-jacent. Les aires de gel intertidal ont été reportées sur la figure 2.3. Comme l'ont révélé les méthodes géophysiques, le gel atteint parfois jusqu'à 3 m d'épaisseur.

L'épaisseur du mollisol atteint, à la mi-août, 1,35 m. Comme certaines étendues de gel peuvent ne durer qu'un an ou deux, il devient difficile de différencier le gel saisonnier du pergélisol.

La figure 2.3 présente les aires gelées à la fin des mois d'août 1984 et 1985.

Étant donné l'étroitesse et la configuration irrégulière du marais, un découpage en plusieurs segments plus ou moins exposés aux divers agents littoraux a servi de base à une division du marais en sept secteurs (fig. 2, 5 et 6). Ces secteurs se présentent, du NO vers le SE, comme suit : 1) une pointe herbeuse affectée par le gel (secteur A); 2) un étroit marais en bordure d'un cours d'eau et comportant de nombreuses buttes de gel (secteur B); 3) un marais digité autour de buttes de pergélisol avec au devant, une flèche caillouteuse d'orientation N-S (secteur C); 4) un marais longiforme et discontinu à buttes de gel (secteur D); 5) une pointe à blocs glaciaires et

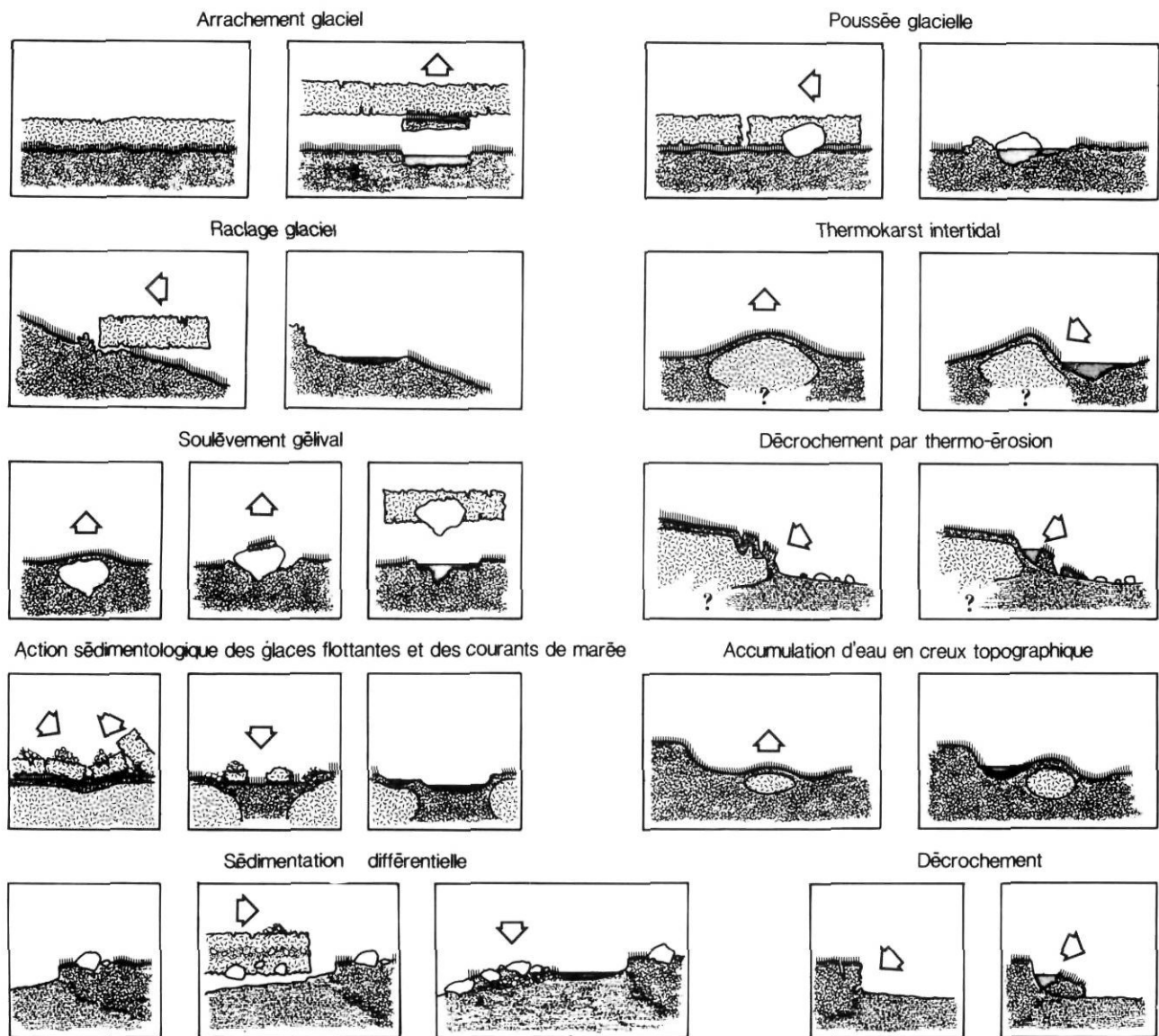


FIGURE 4. Représentation schématique des processus à l'origine des marelles littorales. Les flèches indiquent les mouvements possibles, qu'il s'agisse de soulèvement, de poussée, de raclage ou d'effondrement.

*Schematic representation of processes responsible for coastal pans. Arrows indicate movements whether heaving, pushing, scraping or collapsing is implied.*

crête de poussée glacielle (secteur E); 6) un marais d'apparence lagunaire avec une accumulation d'eau entre la terrasse marine et des buttes de gel oblongues (secteur F); 7) un marais sur banquette alluviale caractérisé par la présence de buttes de pergélisol isolées supportant une végétation terrestre (secteur G).

Le recensement par secteurs des différents types de marelles permet d'avancer certaines interprétations quant à la dynamique des agents littoraux sur le marais.

Certaines particularités ont été décelées au cours des relevés, surtout en ce qui a trait au régime de température et de salinité de l'eau de certaines marelles. Des expériences de prises de mesures en continu durant un cycle de marée ont été réalisées. Les premières vérifications ont été effectuées

de façon à quantifier les changements de température et de salinité occasionnés par les précipitations, le vent, la température de l'air et la submersion par la marée. Les données ont été prélevées à quatre temps différents: temps 1) deux jours avant les hautes marées de juillet; temps 2) deux jours après les hautes marées de juillet, lesquelles ont submergé la marelle; temps 3) au début d'une période de précipitations (temps 1 + 9 jours); temps 4) alors que la température de l'air est très basse ( $3^{\circ}$ ) (temps 1 + 14 jours). Les mesures ont été prises à chacun des sites à mi-colonne d'eau, soit entre 3 et 60 cm de profondeur selon le cas.

Par la suite, des prises de données en continu pendant un même cycle de marée ont été tentées suivant une technique originale. Il s'agissait de mesurer la différence de potentiel

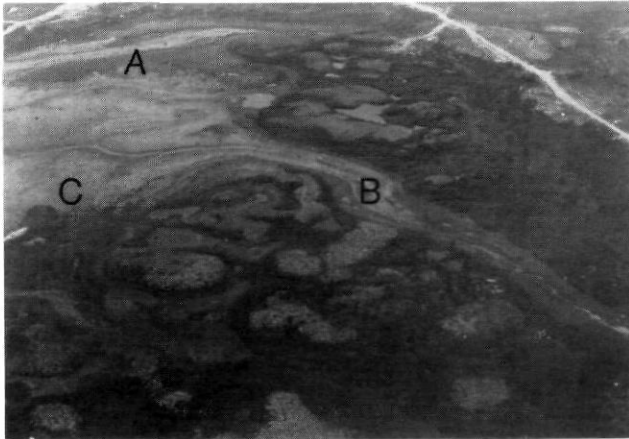


FIGURE 5. Vue aérienne des secteurs A, B et C. À noter l'agencement complexe des formes cryogènes sur la terrasse marine et sur le marais (photo Y. Pelletier).

*Aerial view of zones A, B and C. Note the complex pattern of the cryogenic forms on the marine terrace and on the marsh (photo Y. Pelletier).*

électrique, exprimée en millivolts entre une borne électrode témoin ( $x_0$ ) placée sur l'herbe juste devant la marelle et quatre autres bornes électrodes ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  et  $x_4$ ) placées également sur l'herbe en bordure de la marelle. Ces électrodes sont espacées de 15 m. Comme la marée n'a jamais atteint la marelle durant l'expérience, la diffusion d'eau salée de la baie vers les électrodes s'est faite à travers les sédiments du marais. Cela est nécessaire afin que l'eau ne recouvre pas les électrodes et n'amplifie pas les résultats.

Les cinq électrodes consistaient en des pots poreux de terre cuite, remplis d'une solution de sulfate de cuivre agissant comme électrolyte. Les électrodes étaient reliées à un multimètre. Comme le potentiel de l'électrode témoin variait lui-même durant la progression de la marée, ce sont les différences de variabilité du potentiel électrique qui sont exprimées.

Les lectures ont été prises à toutes les cinq minutes, pendant deux heures. La prise de données a été interrompue juste après l'étape de pleine mer en raison de circonstances incontrôlables.

### LES AGENTS RESPONSABLES DE LA FORMATION DES MARELLES

Après examen détaillé des caractères morphologiques des plans d'eau, les différents types de marelles répertoriés sur le marais semblent dépendre de trois facteurs fondamentaux : 1) l'action des glaces flottantes ; 2) la dynamique du pergélisol et du gel intertidal ; 3) l'influence des vagues, de l'eau courante et de la marée sur l'érosion, le transport et la sédimentation de matériaux fins (FOURNIER, 1986).

Les aspects sédimentaires de l'action des vagues et des cours d'eau ainsi que ceux de la dynamique glacielle ont été très bien décrits au cours des dernières années (DIONNE, 1970, 1972, 1976a, 1976b ; ALLARD, 1981 ; BERTRAND,



FIGURE 6. Vue aérienne des secteurs F et G du marais littoral. On remarque dans le secteur F de larges étendues de gel et dans le secteur G des buttes de pergélisol à végétation terrestre (photo Y. Pelletier).

*Aerial view of zones F and G of the marsh. Note large areas of heaved frozen ground in zone F and permafrost mounds with terrestrial vegetation in zone G (photo Y. Pelletier).*

1984 ; BÉGIN et ALLARD, 1982). Les mentions sur l'existence et le régime du pergélisol dans la zone intertidale sont, par contre, très rares (HANSELL *et al.*, 1983) et les effets morphosédimentaires du gel saisonnier ou permanent sur les estrans vaseux demeurent très peu documentés (SEGUIN et ALLARD, 1984 ; DIONNE, 1975, 1976, 1978 ; UGOLINI, 1975).

Les processus provoqués par les trois agents susmentionnés sont régis par le régime macrotidal de l'estuaire de George. Les fortes marées établissent sur le marais différents niveaux de submersion. La présence de gel intertidal sous le marais inférieur est inhibée par les submersions fréquentes, alors que le transport glacielle et le soulèvement de la glace d'estran y sont favorisés. Inversement la longue exposition à l'air du marais supérieur contribue au développement du gel intertidal. La marée influence aussi les températures et les taux de salinité des marelles et contrôle ainsi le gel des plans d'eau.

### LES DIFFÉRENTS TYPES DE MARELLES

#### LES MARELLES PRODUITES PAR LA DYNAMIQUE DU GEL INTERTIDAL

Le soulèvement gélival et le thermokarst sont les deux processus liés à la dynamique du gel intertidal.

##### • Les marelles de soulèvement gélival

Il existe dans le marais quelques cavités produites par le soulèvement gélival de blocs enfouis. Les blocs soulevés par le gel en milieu terrestre ont été signalés à plusieurs reprises par divers chercheurs, alors que le phénomène n'a été mentionné qu'en de rares occasions en milieu intertidal (DIONNE, 1975). Après qu'un bloc ait percé le tapis végétal, le matériel sous la déchirure se trouve emporté par l'action combinée des vagues, des courants de marée et des glaces flottantes.



Les vagues, en particulier, créent, par leur mouvement giratoire autour du bloc, un bassin périphérique annulaire (fig. 7). Dans certains bassins de soulèvement gélival, le bloc a été pris en charge par les glaces flottantes et déposé plus loin, de sorte qu'apparaît une seconde cavité emboîtée dans la première (fig. 4).

• Les marelles de thermokarst intertidal.

Le thermokarst se manifeste de deux façons: a) par affaissement vertical, favorisé par l'accumulation de neige et d'eau d'écoulement dans de petites dépressions; b) en dé-

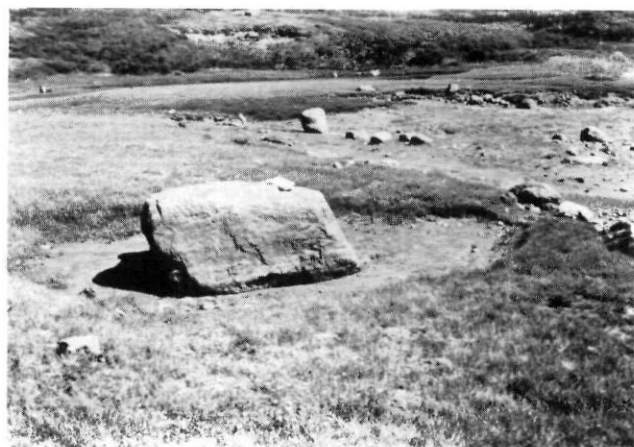


FIGURE 7. Marelle de soulèvement gélival à un stade avancé de développement. Le bassin annulaire de la marelle est libre de toute végétation et complètement asséché. Les différentes étapes de soulèvement ont laissé plusieurs traces sur le bloc.

*Frost heaving pans in a late-development stage. The circular basin is free of vegetation and completely dry. The different stages of heaving are represented on the boulder by successive colored stripes.*

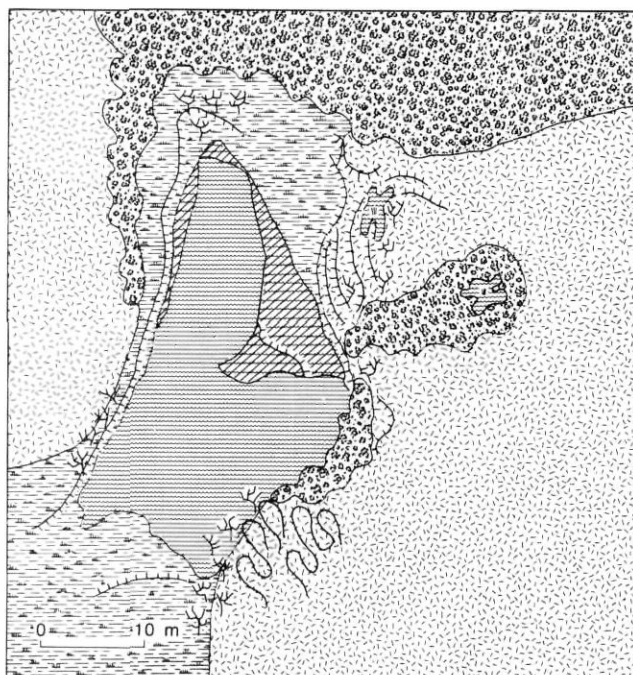


FIGURE 8. Marelle de thermokarst intertidal située dans le secteur B du marais. Une petite butte de gel se trouve près de la partie du bassin la plus profonde.

*Intertidal thermokarst pan located on zone B of the salt marsh. There's a small frost mound nearby the deepest part of the basin.*

gradation latérale des buttes de pergélisol intertidal. Les marelles de thermokarst, lorsqu'elles atteignent près de 1 m de diamètre, présentent un profil dissymétrique dont la partie la plus profonde se trouve à proximité de la masse gelée (fig. 4 et 8).

La figure 9 illustre un exemple de marelle de thermokarst intertidal. Cette marelle se situe dans le secteur C et occupe une interdigitation du marais (fig. 2). Elle est accolée à une longue butte de pergélisol en voie de dégradation. En partie amont de la marelle, près du large replat submergé, la butte subit une dégradation verticale. Elle est parsemée de cavités



-  Butte de pergélisol
-  Replat submergé
-  Micro - escarpements
-  Marelle
-  Bordure de végétation submergée
-  Saulaie littorale
-  Saules morts
-  Marais
-  Bourrelets de solifluxion

FIGURE 9. Schéma morphologique représentant une marelle de thermokarst intertidal située dans une interdigitation du secteur C du marais. Les replats, creux et bosses affectant la butte de pergélisol près de la partie amont de la marelle témoignent d'un thermokarst vertical, tandis que les indices de dégradation de pente (saules submergés, bourrelets de solifluxion) révèlent un thermokarst latéral.

*Morphological sketch representing an intertidal thermokarst pan located on an interlobated part of zone C of the salt marsh. Shelves, hollows and hummocks on the upstream part of the permafrost mounds surface are related to down-wearing thermokarst whereas the down-stream part is affected by back-wearing thermokarst.*



et la saulaie s'y trouve entièrement dégradée. Les marées de vives-eaux recouvrent complètement cette partie de la butte. Dans la partie aval de la marelle, le versant de la butte est affectée par une dégradation latérale. Les saules accrochés au versant sont tous morts. Le bassin de la marelle y atteint sa plus grande profondeur.

#### LES MARELLES DE THERMO-ÉROSION

La thermo-érosion est un processus thermokarstique permettant le développement d'un autre type de marelles. Provoquée par le recouvrement par la marée et par le sapement dû aux vagues de pleines mers, la fonte du pergélisol et du gel intertidal le long de la flexure du marais entraîne le décrochement de lisières de végétation et leur effondrement vers la vasière (FOURNIER, 1985). Ce phénomène se produit à la marge du marais, en bordure des chenaux, sur des pentes de 30-35°, comme celles que l'on retrouve dans le secteur B. Ces marelles de décrochement par thermo-érosion apparaissent comme des bassins perchés à remplissage et vidange intermittents et sporadiques (fig. 10).



FIGURE 10. Décrochement, par suite de la thermo-érosion de petites buttes de gel, de lanières de végétation vers la vasière, provoquant ainsi l'apparition de marelles.

*Shearing of vegetation stripes caused by water-induced thawing.*

#### LES MARELLES PRODUITES PAR L'ACTIVITÉ GLACIELLE

L'activité glacielle joue un rôle double : érosif et sédimentaire. En plus d'occasionner une réactivation sporadique de nombreux segments de la micro-falaise du niveau des pleines mers moyennes et de permettre le dépôt de blocs, de semis graveleux et de sédiments fins, les glaces flottantes érodent et creusent quantité de petits bassins tels des marelles d'arrachement, des souilles de poussée et des aires de raclage superficiel.

- Les marelles d'arrachement glacielle

Les marelles d'arrachement constituent en nombre, l'un des types de marelles les mieux représentés sur le marais. Décrites par DIONNE (1969, 1970, 1972, 1978a), ces marelles ne se trouvent toutefois que dans le marais inférieur, là où les submersions par la marée suffisamment fréquentes et profondes rendent possible le soulèvement de la glace d'estran. Des observations hivernales le long du Saint-Laurent (ALLARD et CHAMPAGNE, 1981) ont montré qu'une mince couche de glace d'estran composite de 5 à 30 cm d'épaisseur se forme sur le marais supérieur et y reste soudée jusqu'à la fin du déglacement, à cause notamment du nombre restreint de submersions et de la faible profondeur de la nappe d'eau.

Sur le marais supérieur de la baie de Kangiqsualujuaq, la couverture de glace est discontinue et ne dépasse pas 15 cm d'épaisseur. Lors du déglacement, le pied de glace fond sur place dans les aires protégées du marais (derrière la flèche, dans les chenaux, le long des ruisseaux), alors que la glace est rapidement évacuée des aires exposées.

- Les marelles à blocs glaciels

L'action glacielle produit également un autre type de marelles : les marelles à blocs. Celles-ci ont leur bassin formé par la traction ou la poussée de blocs sur la surface du marais par les glaces flottantes. Les déchirures du tapis végétal et les rainures ainsi engendrées résistent à l'érosion durant la

saison estivale. Les marelles à blocs sont cependant peu nombreuses et peu développées.

Le dépôt de blocs métriques sur la surface du marais occasionne quelquefois l'apparition de marelles. La conductivité thermique étant plus grande à travers le bloc que sur le marais tout autour, l'épaississement du mollisol lors du dégel saisonnier s'y produit plus rapidement et provoque l'enfoncement du bloc et le développement d'une marelle annulaire. L'état du tapis végétal autour du bloc sert à distinguer ces marelles de celles produites par le soulèvement glacial.

- Les marelles de raclage glacielle

Certaines dépressions peu profondes situées sur des aires de pente plus prononcée du marais inférieur semblent être produites par le raclage superficiel de la végétation du marais par les glaces flottantes. La position topographique de ces marelles y rend difficiles la sédimentation et la recolonisation végétale. Après trois années successives le bassin des marelles de raclage glacielle est demeuré inchangé.

#### LES MARELLES PRODUITES PAR L'HYDRODYNAMISME DE SURFACE

Les marelles produites par l'action de l'eau courante, des vagues et de la marée sur l'érosion, le transport et la sédimentation ont un aspect fort différent de celui des marelles glacielles et de thermokarst. Les formes qui en résultent sont nettement plus variées.

- Les marelles de chenal intertidal

La présence de chenaux sur le marais, qu'ils soient façonnés par l'écoulement d'eau douce ou par les courants de marée, contribue à la formation d'un autre type de marelles. Ces chenaux peuvent être ou non encaissés entre des aires d'estran affectées par le pergélisol. Le bassin de ces marelles de chenal est formé par le colmatage, l'obstruction ou la fragmentation du chenal par suite de la déposition de sédiments fins et de radeaux de végétation (YAPP *et al.*, 1917; TANSLEY,

1939; STEERS, 1948; TURMEL, 1958; CHAPMAN, 1960; VERGER, 1968; REDFIELD, 1972) et par la dégradation du gel sous le chenal lorsque les courants de flot le remontent ou que les glaces y fondent (fig. 11).

- Les marelles de creux topographiques

L'écoulement de l'eau de surface (petits cours d'eau ou drainage du marais lors du jusant) est à l'origine d'un type de marelles aux formes et aux conditions d'apparition très variables. Ces marelles sont produites par l'accumulation d'eau dans un creux topographique au sein d'un modelé en creux et bosses. La proximité de petites buttes de gel favorise très souvent le développement de telles marelles en accentuant



FIGURE 11. Marelles de chenal en échelon. Ce chenal auquel sont adjoints plusieurs petits chenaux de second ordre draine une bonne partie de la surface du marais du secteur A.

*En echelon channel-pans. The channel is draining the greatest part of zone A's surface.*



FIGURE 12. Marelle de creux topographique dans le secteur G du marais. Le bassin de la marelle est coincé entre deux buttes de pergélisol. On remarque sur le pourtour de la marelle de larges bordures de végétation submergée. Un cordon de blocs glaciels anciens vient choir dans la marelle.

*Hollow pan on zone G of the salt marsh. Two permafrost mounds are close to the pan. Notice the fringes of submerged vegetation around the basin. An ancient boulder ridge sinks into the pan.*

les dénivellations et en provoquant la création de creux topographiques (fig. 12).

- Les marelles de lacune de sédimentation

L'action combinée de l'écoulement d'eau douce et des vagues produit un type de marelles très particulier dont le marais de Kangisualujuaq comporte plusieurs exemples dans le secteur E. Il s'agit de marelles de lacune de sédimentation. Elles se présentent avec une grande variété morphologique. L'alignement des marelles, des blocs glaciels disséminés sur le marais et des segments de crête de poussée glacielle laisse voir que le secteur E du marais s'est construit par l'accrétion successive de bandes de sédiments, du SE vers le NO (fig. 2 et 13). Le bassin des marelles s'est formé à la suite d'une sédimentation différentielle d'éléments fins autour d'éléments glaciels résiduels (glaçons lestés de sédiments, blocs) provenant de l'estuaire et du cours d'eau à l'extrême SE. Ces marelles se remplissent et se vident presque complètement au gré des marées. Aux mers moyennes, elles sont remplies, alors que le marais tout autour n'est pas submergé.

- Les marelles de décrochement

L'action des vagues provoque à quelques endroits une érosion le long de la micro-falaise du niveau des pleines mers moyennes et permet l'apparition de fissures et la rupture du tapis végétal par décrochement de lanières de végétation. Ce processus se produit surtout pendant l'inter-glaciel et ne met pas en cause la dégradation du gel intertidal mais plutôt le sapement de base de la pente par les vagues. Ces lanières ne s'affaissent pas immédiatement sur la surface vaseuse et certains de leurs segments restent accrochés au rebord du marais (fig. 14).

#### LES MARELLES COMPOSITES

Près des buttes de pergélisol, l'action glacielle, l'influence des vagues, de la marée et des eaux de surface et l'agen-

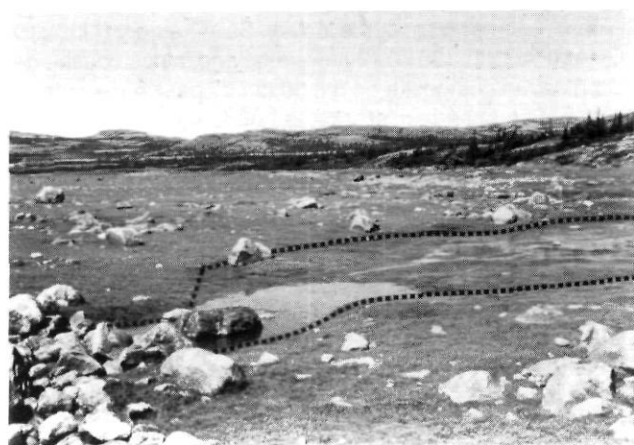


FIGURE 13. Marelle de lacune de sédimentation à marée basse. Lors des mers moyennes, le bassin de la marelle est submergé mais non le marais tout autour.

*Sedimentary gap pan shown at low-tide. During the mean high-level, the pan is water-filled but not the marsh's surface.*



FIGURE 14. Marelle de décrochement dans le secteur D. La déchirure a été causée par le sapement par les vagues de la base de la micro-falaise au niveau des pleines mers moyennes.

*Slide scar pan on zone D of the salt marsh. The rip was caused by wave undermining of the mean high tide level micro-cliff.*

cement des formes cryogènes permettent l'apparition de marelles composites. La formation de ces marelles commence par un processus et se complète par un autre.

Les combinaisons de processus se produisent de quatre façons différentes sur le marais. Il s'agit de combinaisons entre : 1) La dégradation du gel et la rétention de neige dans les creux; 2) la dégradation du gel et l'activité glacielle; 3) la dégradation du gel et l'écoulement d'eau douce; 4) l'action glacielle et le soulèvement géluvial.

• Exemples de marelles composites

Nous présentons dans cette partie deux exemples de marelles composites. Dans les deux cas, la dégradation du gel intertidal et l'action des glaces flottantes semblent être les processus en cause.

Le premier exemple (fig. 15) se situe dans le secteur A (fig. 2). Cette marelle, de forme particulière, se caractérise par son encaissement et sa basse altitude près du niveau des pleines mers moyennes bien qu'elle se trouve au contact de la saulaie littorale. Lors du flot, les eaux l'envahissent avant d'atteindre la surface du marais avoisinant (fig. 16). Son encaissement, en plus d'être entretenu par les courants, est accentué par la présence de gel permanent dans le sol avoisinant.

Cette marelle recueille une bonne partie des eaux de drainage terrestre à la lisière de la saulaie littorale. Elle contient une grande quantité de sédiments et de débris de tous genres, comme des restes d'algues et de plantes terrestres et aquatiques. Un bon nombre de radeaux de glace viennent y fondre pendant la saison de déglacement alors que le marais en est déjà dépourvu.

Les sédiments sablo-limoneux et les restes de radeaux de végétation délestés par les glaces sont ensuite redistribués par le fort tourbillonnement de flot. On trouve sur le flanc amont de la marelle quatre ou cinq laisses de marées successives (fig. 15).

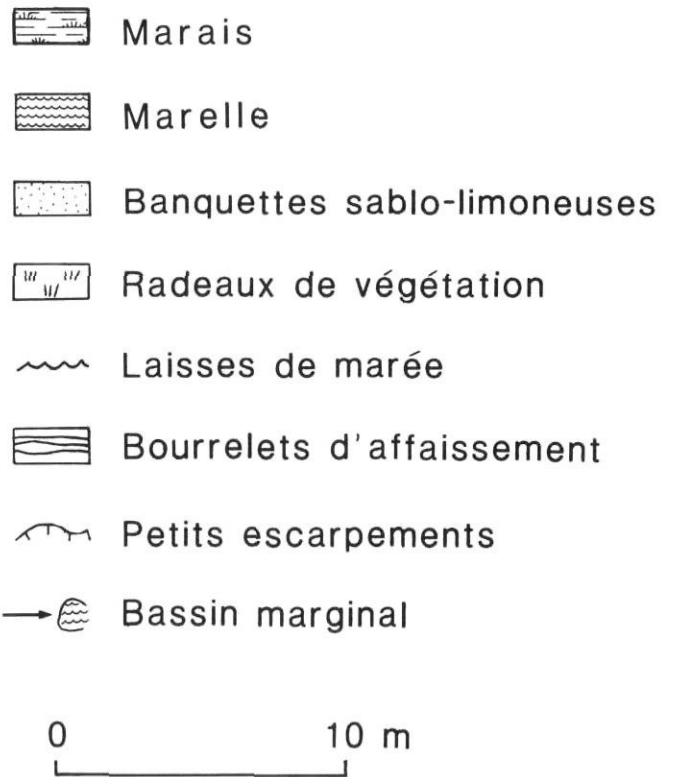
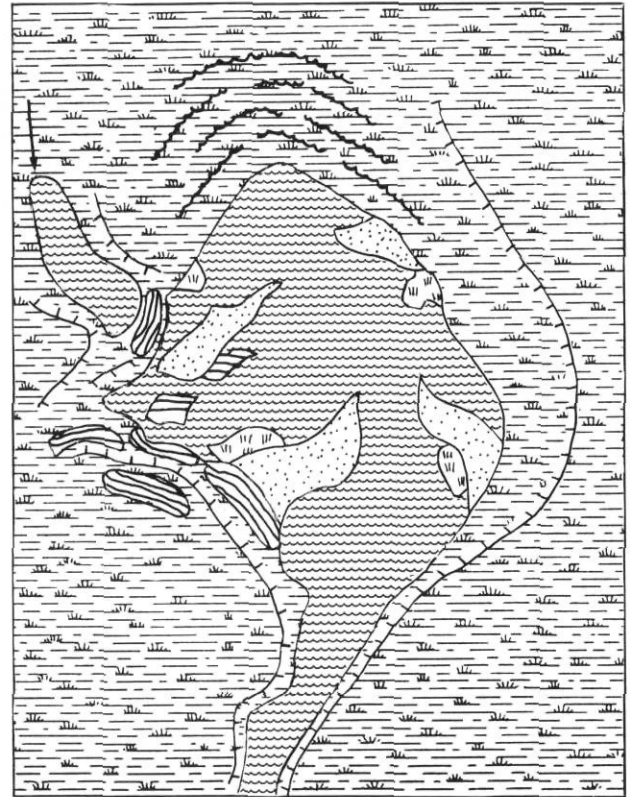


FIGURE 15. Schéma morphologique de la marelle composite du secteur A.

*Morphological sketch of the composite pan of zone A.*



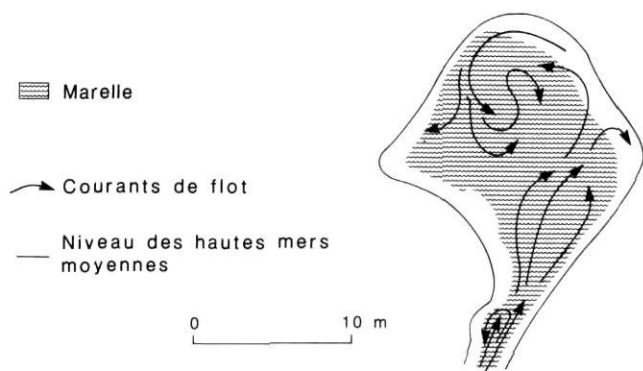


FIGURE 16. Directions des courants et des tourbillonnements de flots observés lorsque qu'est atteint le niveau des pleines mers moyennes. Ces directions concordent avec la disposition des bancs de sédiments et des restes de végétation dans la marelle.

*Direction of currents and whirls as observed when the water reaches the mean high-tide level. Those directions match with the arrangement of sediment patches and vegetation debris in the pan.*

Le second exemple de marelle composite (fig. 17) se trouve dans le secteur C dans une enclave de marais entre des buttes de pergélisol (fig. 2.3). Deux marelles occupent l'enclave: l'une, assez petite, se situe dans la partie amont, près de la saulaie, l'autre, que nous retenons ici, occupe la partie aval.

La marelle est constituée de deux bassins séparés l'un de l'autre par un seuil formé de deux replats, l'un émergé, l'autre submergé. On trouve sur le replat émergé quelques radeaux de végétation ainsi que des semis glaciels hétérométriques. Le bassin principal de la marelle est prolongé, du côté aval, par une entaille de 50 cm de profondeur. Se trouvant entourée de trois buttes de pergélisol, la marelle agit comme une trappe à glaces flottantes lesquelles abandonnent, en fondant, des sédiments de toutes sortes.

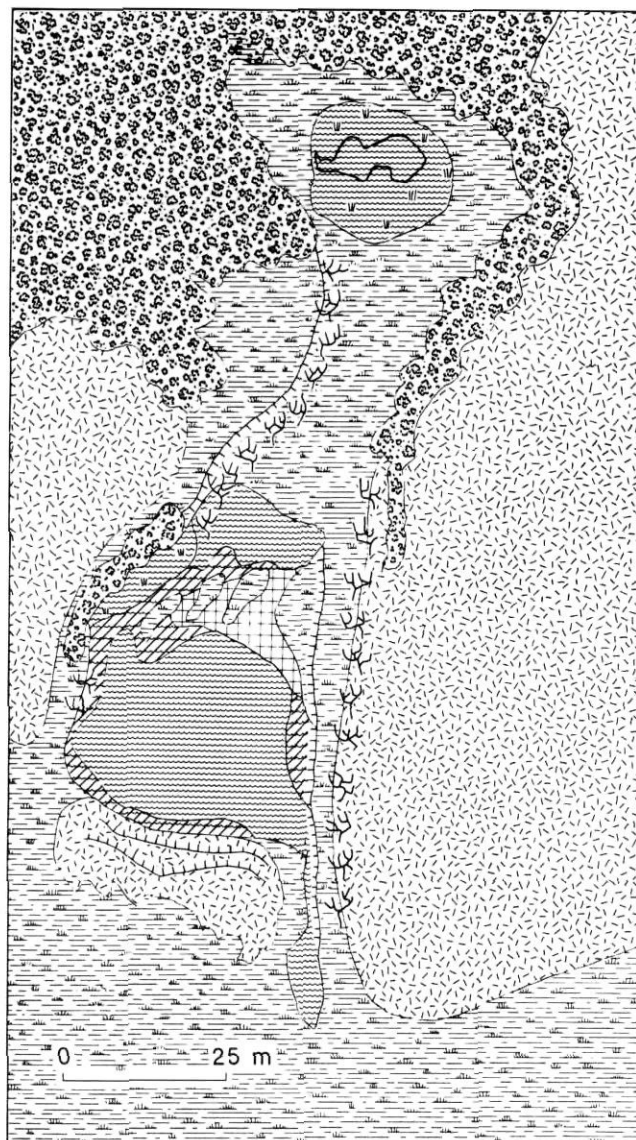
#### RÉPARTITION TOPOGRAPHIQUE DES TYPES DE MARELLES

Le marais inférieur et le marais supérieur se distinguent l'un de l'autre par la présence exclusive de certains types de marelles. Les marelles d'arrachement glaciaire représentent la majorité des plans d'eau du marais inférieur, côtoyant les souilles et les affouillements glaciaires. Le marais supérieur possède peu de marelles glacielles. La présence ou la proximité de gel intertidal favorise la présence de certains types de marelles peu décrits comme les marelles de thermokarst intertidal et les marelles de soulèvement géluvial. Le tableau II résume la répartition altitudinale des types de marelles. Ce sont finalement les zones à proximité des aires de gel qui offrent la plus grande variété de marelles.

#### RÉGIME TEMPÉRATURE-SALINITÉ D'UNE MARELLE

Une marelle témoin a été choisie pour la réalisation de quelques expériences et vérifications relatives aux effets de la marée. Cette marelle se situe dans le secteur C du marais supérieur (fig. 2).

Il s'agit d'une marelle de thermokarst. Elle est de forme oblongue et constituée de deux bassins séparés par un seuil.



-  Butte de pergélisol
-  Replat submergé
-  Replat émergé
-  Micro-escarpements
-  Marelles
-  Bordure de végétation submergée
-  Saulaie littorale
-  Saules morts
-  Marais

FIGURE 17. Schéma morphologique d'une interdigitation du marais dans le secteur C.

*Morphological sketch of an interdigitate pattern of the marsh on zone C.*

TABLEAU II

Répartition topographique des types de marelles; l'altitude des marelles croît du marais inférieur vers le marais supérieur affecté par le gel

Marais inférieur	Marais supérieur		
	Sans gel	A proximité de buttes de gel	Affecté par le gel
		Marelles de thermokarst	intertidal
		Marelles de soulèvement	gélival
		Marelles composites	
		Marelles de décrochement par thermo-érosion	
		Marelles de chenal de marais intertidal	
		Marelles de creux topographiques	
		Marelles de décrochement	
		Marelles de lacune de sédimentation	
Marelles à blocs glaciels			
Marelles d'arrachement glacial			

Le bassin amont subit l'influence de l'écoulement d'eau terrestre tandis que le bassin aval réagit plus rapidement à la montée de la marée (fig. 18). Vingt sites de mesures ont été choisis dans la marelle. Celle-ci a de plus été divisée en zones morphologiques dans chacune desquelles les températures et les salinités sont assez homogènes. Ces zones sont (fig. 19): 1) le bassin amont; 2) la partie amont du seuil; 3) la partie aval-gauche du seuil; 4) la partie aval-droite du seuil; 5) la partie gauche du bassin aval; 6) la partie droite du bassin aval; 7) l'extrémité aval de la marelle.

Le tableau III illustre les résultats obtenus pour chacune des zones morphologiques pendant les quatre moments de prise de données (cf. méthodes).

On remarque qu'il existe un gradient longitudinal de la température de l'eau (temps 1, 2 et 3) dans lequel les températures les plus élevées se trouvent en amont et les plus froides en aval. Les apports d'eau douce terrestre en sont probablement la cause. Le volume de la marelle étant relativement important (~ 345 m<sup>3</sup>), la température de l'eau ne réagit que lentement à celle de l'air ambiant.

On note cependant que les précipitations, par le brassage de l'eau qu'elles occasionnent, modifient les températures

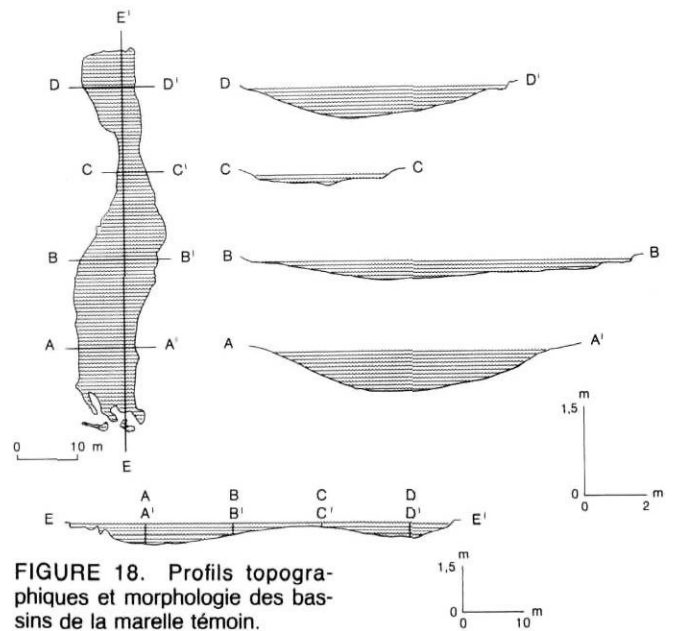


FIGURE 18. Profils topographiques et morphologie des bassins de la marelle témoin.

Profiles of basins composing the reference pan.



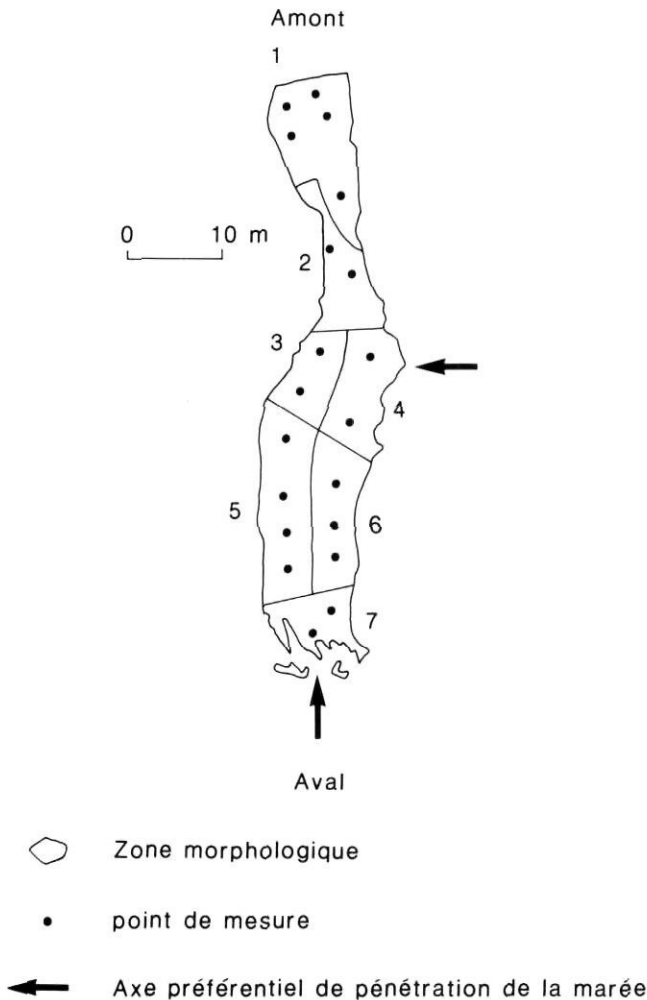


FIGURE 19. Localisation des zones morphologiques et des points de mesure de température et de salinité.

*Morphological zones and points of measurement of temperature and salinity.*

plus rapidement: d'abord en abaissant celles de la marelle sous la température de l'air (temps 3) puis en perturbant complètement le gradient longitudinal (temps 4). Une baisse subite de la température de l'air (temps 4) n'a que peu d'influence à court terme sur les températures de l'eau de la marelle.

Les variations de salinité dépendent étroitement de la morphologie de la marelle ainsi que des axes de pénétration de la marée (fig. 19). La marée atteint la marelle par sa partie la plus en aval (zone G) mais également par le côté (zone D) en remontant le long du ruisseau et des chenaux parcourant le secteur C du marais (fig. 2). Le ruisseau coule près de la marelle, sur la vasière. Son débit n'est toutefois pas important et n'influence donc pas la salinité.

La salinité se répartit habituellement avec des minima en partie amont et des maxima près des zones de pénétration préférentielle surtout en zone D et de chaque côté de celle-ci (temps 1 et 2). La salinité a doublé avec la submersion par la marée (temps 2).

Les effets de la marée sur la salinité se font sentir par contact direct ou par diffusion à travers les sédiments. En période de déchet (temps 3), les salinités s'amenuisent graduellement. Les précipitations perturbent la répartition des salinités (temps 3) puis les diminuent considérablement (temps 4).

Ces résultats concordent avec ceux de BLEAKNEY et MEYER (1979), qui indiquent également que l'adjonction d'eau salée provoque des hausses de salinité et que les précipitations agissent de façon contraire.

#### LES PRISES DE MESURES EN CONTINU PENDANT UN MÊME CYCLE DE MARÉE

Les électrodes ont été disposées sur le pourtour de la marelle témoin de façon à enregistrer les variations de température et de salinité pour chacun des seuils et des bassins pendant toute la période de prise de données.

L'électrode  $x_1$  correspond à la partie aval de la marelle,  $x_2$  au bassin aval,  $x_3$  au seuil et  $x_4$  au bassin amont (fig. 20). Les courbes des électrodes  $x_1$  et  $x_3$ , vis-à-vis desquelles pénètre l'eau salée, varient peu par rapport à celle de l'électrode  $x_0$  (de 0 à 1,3 mV (fig. 21)). Les variations de salinité sont donc similaires pour ces trois points. Les courbes des électrodes  $x_2$  et  $x_4$  démontrent que les écarts entre la salinité de ces deux bornes et celle de l'électrode témoin  $x_0$  s'accroissent à mesure que progresse la marée.

Les changements de salinité se produisent par saccades, provoquées par la présence de seuils ou de petits escarpements dans le profil du marais en aval du point  $x_0$  et permettant ainsi une pause momentanée dans la progression de la marée.

Malgré sa proximité des axes de pénétration de la marée, le bassin aval accuse de plus grands changements de salinité que le bassin amont, avec de plus, un décalage de 5 à 7 minutes. Ce phénomène s'explique par la différence de volume d'eau entre les deux bassins (env. 48 m<sup>3</sup> pour le bassin amont et 98 m<sup>3</sup> pour le bassin aval), l'écart à combler étant moindre dans le bassin amont. Il se produit, dans chacun des bassins, une uniformisation des salinités, avant que celles-ci ne subissent une hausse générale dans l'ensemble de la marelle, accentuant ainsi l'effet de saccade.

#### DISCUSSION

Le tableau IV illustre la répartition des types de marelles par secteur de marais, en nombre absolu et en pourcentage approximatif.

La géométrie de la baie de Kangiqsualujjuaq et la configuration de son marais exercent une influence sur la répartition des types de marelles par le biais principalement de l'exposition relative aux vagues de pleine mer (fig. 1). Le centre du marais, notamment le secteur D, est très exposé et montre des marques d'érosion, tandis que les secteurs soustraits à l'action directe des vagues, comme les secteurs A et F, sont plus favorables à la sédimentation de la vase et à la colonisation végétale. Les secteurs B et G sont également très abrités étant situés le long de cours d'eau d'origine terrestre. Le

TABLEAU III

Résultats des prises de température et de salinité dans les aires morphologiques de la marelle témoin pendant quatre différentes périodes

		Zones morphologiques de la marelle témoin						
		1	2	3	4	5	6	7
Moment 1 (J = 1) Temp. air: 13°C	T°C moy.	23	22	21,5	21,5	21	20	20,5
Deux jours après les hautes marées de juillet	sal. moy.	8,5	9	9,25	9,75	9	9,5	9,5
Moment 2 (J = 4) Temp. air: 7°C	T°C moy.	11	10	9,75	9,5	10	9,5	9,5
Deux jours après les hautes marées de juillet	sal. moy.	16,5	18	17,5	18,5	17,5	18	18,5
Moment 3 (J = 10) Temp. air: 10°C	T°C moy.	10	10	9	9,5	9	8,5	8,5
Au début d'une période de fortes précipitations	sal. moy.	14	11,5	13,75	14,5	15,5	17	15
Moment 4 (J = 15) Temp. air: 3°C	T°C moy.	9,75	9,5	8,5	9,5	9,5	10	9,5
Fin des précipitations et baisse des temp.	sal. moy.	4,25	3,5	3,25	4	3,5	3,5	4

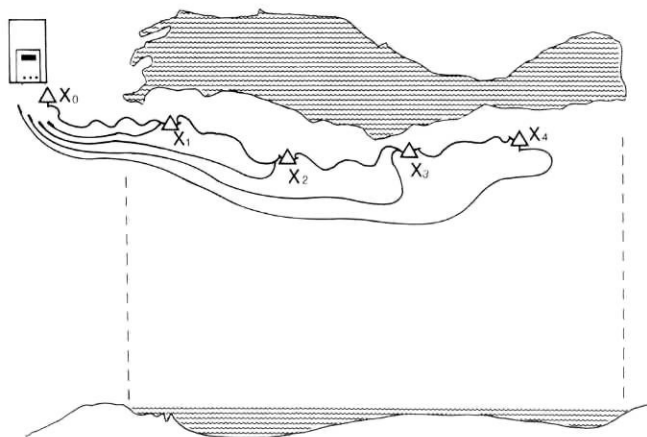


FIGURE 20. Disposition des électrodes lors de la prise en continue de données. L'électrode X<sub>0</sub>, en aval de la marelle fait office de borne témoin.

Electrode arrangement at the time of continuous conductivity measurements. Downstream the pan, electrode X<sub>0</sub> serves as the reference electrode.

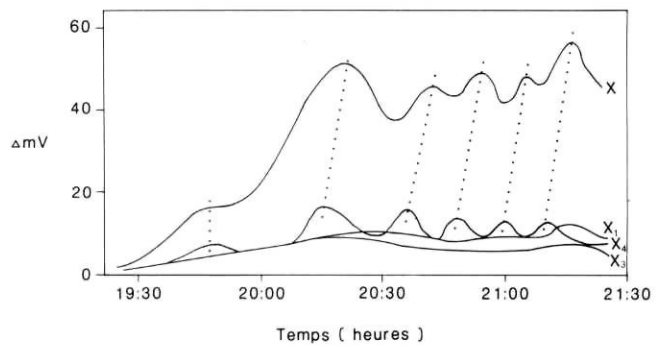


FIGURE 21. Courbes de la variation du potentiel électrique (en mV) selon le temps pour chacune des électrodes. Les courbes de X<sub>2</sub> et X<sub>4</sub>, correspondant au comportement des deux bassins, varient de façon presque identique, avec toutefois un léger décalage de quelques minutes (illustré par les traits pointillés).

Curves of the electric potential variation (in mV) against time for each electrode. Curves X<sub>2</sub> and X<sub>4</sub>, representing each basin, follow an almost identical variation. They are out of phase by only a few minutes (indicated by the dotted line).

TABLEAU IV

*Répartition en nombre et en pourcentage des marelles selon chaque type et par secteurs de marais. La complexité, l'état de démantèlement et le grand nombre de marelles d'arrachement glaciai a empêché leur décompte avec exactitude. Le nombre total de marelles et les pourcentages indiqués varient donc légèrement selon l'approximation choisie du nombre de marelles d'arrachement glaciai.*

	Secteurs							nombre	%
	A	B	C	D	E	F	G		
<b>Types de marelles</b>									
Thermokarst intertidal Soulèvement géluvial Décrochement par thermo-érosion	26	12	9	—	—	—	15	62	34-36
À blocs glaciaux Raclage glaciai Arrachement glaciai	—	—	2 50-60	—	—	—	—	50-60	27-35
Chenal de marais intertidal Creux topographique Lacune de sédimentation Décrochement	12	—	2	3	19	9	—	45	25-26
Composite	2	—	6	—	—	—	1	9	5-6
Nombre	40	12	70-80	3	19	9	16	170-180	
% approx.	22-26	6-7	32-47	1-2	10-13	5-6	9-11		

marais du secteur C, malgré sa position au centre de la baie, demeure protégé de l'action des vagues derrière la flèche glaciale et à cause de son interdigitation entre des buttes de pergélisol terrestres. Le marais du secteur E est propice à la sédimentation glaciale, laquelle est influencée par la proximité du grand ruisseau et les longs fetchs donnant sur l'estuaire maritime.

Les grandes aires de pergélisol intertidal se trouvent principalement sous les étendues du marais supérieur développées dans les secteurs A, B, F et G. Les marelles liées à la dynamique du pergélisol et du gel intertidal s'y concentrent en grand nombre. Les secteurs B et G, à cause de la grande concentration de neige qui s'y produit, contiennent la majorité des marelles de thermokarst intertidal. Les marelles d'arrachement glaciai ne se trouvent que sur le marais inférieur du secteur C sur lequel les submersions sont suffisamment fréquentes et profondes. Les marelles de lacune de sédimentation se situent uniquement sur le marais du secteur E, en raison de sa dynamique particulière d'accumulation de blocs et de vase.

## CONCLUSION

Jusqu'à présent, peu d'études ont été consacrées aux littoraux à pergélisol des milieux subarctiques. Des survols des littoraux sud et ouest de la baie d'Ungava laissent supposer que les processus agissant sur les estrans sont responsables

d'une multitude de formes non encore décrites dans les publications géomorphologiques. Les marelles de la baie de Kangiqsualujuaq n'en fournissent qu'un échantillon partiel. La végétation, le régime thermique des dépôts intertidaux et les formes qui en résultent sont très différents de ce que l'on observe le long des rives du Saint-Laurent.

Les processus liés au gel intertidal comme le soulèvement de buttes, l'émergence de blocs enfouis et le thermokarst apparaissent dominants dans la formation des marelles. Ils agissent concurremment aux autres processus déjà reconnus ailleurs, notamment les processus glaciaux. L'analyse systématique des marelles en milieu intertidal peut aider à déceler les variations subtiles dans la répartition régionale des processus littoraux.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet Ungava du Centre d'études nordiques. Les auteurs remercient Yvon Pelletier, Émile Gahé et Jacqueline Bouchard pour leur collaboration sur le terrain ainsi que Élisabeth Jetchick pour ses judicieux conseils lors de la rédaction du manuscrit. Ivan Grenier, Manon Savard et Fernando Shériff ont contribué à la réalisation de plusieurs figures. Les auteurs ont bénéficié de l'organisation matérielle du Centre d'études nordiques et de celui de la communauté de Kangiqsualujuaq. Les fonds nécessaires ont été octroyés par le C.R.S.N.G. et le F.C.A.R. Mme Thérèse Lambert a assuré la dactylographie du texte.

## RÉFÉRENCES

- ALLARD, M. (1981): L'anse aux Canards, Île d'Orléans, Québec: évolution holocène et dynamique actuelle, *Géographie physique et Quaternaire*, 35 (2), p. 133-154.
- ALLARD, M. et SEGUIN, M. K.- (1987): Le pergélisol au Québec nordique: bilan et perspectives, *Géographie physique et Quaternaire*, 41 (1), p. 0.
- ALLARD, M. et CHAMPAGNE, P. (1980): Dynamique glacielle à la pointe d'Argentenay, Île d'Orléans, Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, 34 (2), p. 159-174.
- BÉGIN, Y. et ALLARD, M. (1982): *Le glacier de Kuujuarapik*, Nouveau-Québec, Nordicana, 46, p. 41-100.
- BERTRAND, P. (1984): *Le secteur côtier Cacouna-Isle-Verte: étude géomorphologique et classification des sols*, Univ. Laval, thèse de maîtrise non publiée, 240 p.
- BLEAKNEY, S. et MEYER, K. B. (1979): Observations on salt marsh pools, Minas basin, Nova Scotia 1965-1977, *Proceedings, Nova Scotia Institute of Science*, n° 29, p. 353-371.
- CAILLEUX, A. et HAMELIN, L.-E. (1968): Périglaciaire actuel sur le littoral du Bic (Bas Saint-Laurent), *Cahiers de géographie de Québec*, 23, p. 361-378.
- CANADA, PÊCHES ET OCÉANS (1983): *Table des marées et courants du Canada. Vol. 4, l'Arctique et la baie d'Hudson*, 51 p.
- CHAMPAGNE, P. (1978): *Évolution littorale et dynamique glacielle à la pointe d'Argentenay*, Île d'Orléans, Univ. Laval, thèse de maîtrise non publiée, 124 p.
- CHAPMAN, V. J. (1960): *Salt marshes and salt deserts of the world*, Leonard Will, Londres, 392 p.
- DIONNE, J.-C. (1968): Schorre morphology on the south shore of the St. Lawrence estuary, *American Journal of Science*, 266, p. 380-388.
- (1969): Érosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent, *Revue de Géographie de Montréal*, 23, p. 5-20.
- (1970): *Aspects morpho-sédimentologiques du glacier, en particulier des côtes du Saint-Laurent*, Min. Pêches et Forêts, Laboratoire de Recherche forestière, 324 p.
- (1972): Caractéristiques des schorres des régions froides en particulier de l'estuaire du Saint-Laurent, *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F., Suppl. Bd, 13, p. 131-162.
- (1974a): The eastward transport of erratics in James Bay area, *Revue de Géographie de Montréal*, 28 (4), p. 453-457, 1 fig.
- (1974b): Le littoral est de la baie de James dans la région de Fort George, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 41 (1), p. 117.
- (1975): Blocs soulevés par le froid dans les schorres de la baie de James, Québec, *Revue de Géographie de Montréal*, 29 (2), p. 161-166, 5 fig.
- (1976a): Le glacier de la région de la Grande Rivière, Québec subarctique, *Revue de Géographie de Montréal*, 30 (1-2), p. 133-153, 45 fig.
- (1976b): L'action glacielle dans les schorres du littoral oriental de la baie de James, *Cahiers de géographie de Québec*, 20, p. 303-326.
- (1976c): Le littoral oriental de la baie de James dans la région de Roggan, Québec, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 43 (1).
- (1978a): Le glacier en Jamésie et en Hudsonie, Québec subarctique, *Géographie physique et Quaternaire*, 32, p. 3-70.
- (1978b): Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie, Québec subarctique, *Géographie physique et Quaternaire*, 32, p. 187-247.
- FOURNIER, A. (1985): *Classification morphogénétique des mares littorales de la baie de Kangisualujuaq*, Nouveau-Québec, Univ. Laval, mémoire de baccalauréat, non publ., 115 p.
- (1986): Les mares de la baie de Kangisualujuaq, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 54, p. 486.
- GANGLOFF, P. (1977): Observation de la dynamique glacielle dans la baie de Diana, Ungava, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 44, p. 93.
- GANGLOFF, P., GRAY, J. T. et HILLAIRE-MARCEL, C. (1976): Reconnaissances géomorphologiques sur la côte ouest de la baie d'Ungava, *Revue de Géographie de Montréal*, 30 (4), p. 339-348.
- GAUTHIER, B. et GOUDREAU, M. (1983): Mares glacielles et non glacielles dans le marais salé de l'Isle-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, 37 (1), p. 49-66.
- HAMELIN, L.-E. et CAILLEUX, A. (1966): Le marais troué, forme nouvelle de marais littoral, *C. R. Académie des Sciences de Paris*, 262, p. 540-543.
- HANSELL, G. et al. (1983): Permafrost development in the intertidal zone at Churchill, Manitoba: a possible mechanism for accelerated beach uplift, *Arctic*, 36, 2, p.
- LAMOUREUX, J. P. et ZARNOVICAN, R. (1974): *Les marécages côtiers de la baie aux Oies, Québec: impact du projet hydroélectrique*, Service canadien de la Faune, Environnement Canada, rapp. 13, non publ., 99 p.
- LAURIOL, B. (1982): *Géomorphologie quaternaire du sud de l'Ungava*, Paléo-Québec, 15, 174 p.
- LAURIOL, B. et GRAY, J. T. (1980): Processes responsible for the concentration of boulders in the intertidal zone in Leaf-Basin, Ungava, *Geological Survey of Canada Paper*, 80-10, p. 281-292.
- PAYETTE, S. (1983): The forest tundra and present tree-lines of the northern Québec-Labrador peninsula, in S. Payette et P. Morisset, éd., *Tree-line ecology, Proc. of the Northern Québec Tree-line conf.*, Nordicana 47, p. 3-24.
- PAYETTE, S. et SEGUIN, M. K.- (1979): Les buttes minérales cryogènes dans les basses terres de la rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, 33, p. 339-358.
- PELLETIER, Y. (1986): Méthodes d'études du pergélisol et de la dynamique glacielle de la baie de Kangisualujuaq, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 54, p. 487.
- PELLETIER, Y. et ALLARD, M. (1985): La baie de Kangisualujuaq, Nouveau-Québec, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 52-53, p. 172.
- PELLETIER, Y. et GAUTHIER, R. (1986): Esquisse de la végétation intertidale de la baie de Kangisualujuaq, baie d'Ungava, Nouveau-Québec, *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 54, p. 214.
- PRAT, H. (1933): Les zones de végétation et le faciès des rivages du Saint-Laurent au voisinage de Trois-Pistoles, *Nat. Canada*, 60, p. 93-135.
- REDFIELD, A. C. (1972): Development of a New England salt marsh, *Ecological Monographs*, 42, p. 201-237.
- SEGUIN, M. K.- et ALLARD, M. (1984): La répartition du pergélisol dans la région du détroit de Manitousuk, côte est de la mer

- d'Hudson, Canada, *Journal canadien des Sciences de la Terre*, 21, 354-364.
- STEERS, J. A. (1948): *The coastlines of England and Wales*, Cambridge Univ. Press, 644.
- TANSLEY, A. G. (1939): *The British Islands and their vegetation*, Cambridge Univ. Press, 930 p.
- THÉRIAULT, M. (1983): *Une typologie des régimes climatiques du Québec*, Univ. Laval, thèse de doctorat, non publiée.
- TURMEL, J. M. (1958): Formation des mares et des ruisseaux dans les prés-salés des estuaires de l'Ouest du Contentin, *Bulletin du Laboratoire maritime de Dinard*, 13, p. 79-91.
- UGOLINI, F. C. (1975): Ice-rafted sediments as a cause of some thermokarst lakes in the Nostak River Delta, Alaska, *Science*, 188, p. 51-53.
- VERGER, F. (1968): *Marais et wadden du littoral français: étude géomorphologique*, Bordeaux, Biscaye et Frères, 526 p.
- WILSON, C. (1971): *Le climat du Québec. Atlas climatique*, 1<sup>re</sup> partie, Ottawa, Service de Météorologie.
- YAPP, R. H. *et al.* (1917): The salt marshes of the Dovey estuary, *Journal of Ecology*, 5, p. 65-103.