Document generated on 07/03/2025 8:33 p.m.

Géographie physique et Quaternaire

# Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec
# Recent erosion of the high marsh at Sainte-Anne-Anne-de-Beaupré, Québec.
# Jüngste Erosion der oberen Gezeitenmarsch bei Sainte-Annede-Beaupré, Québec.

Jean-Claude Dionne

Volume 54, Number 1, 2000

URI: https://id.erudit.org/iderudit/004792ar
DOI: https://doi.org/10.7202/004792ar

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

Dionne, J.-C. (2000). Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, *54*(1), 69–89. https://doi.org/10.7202/004792ar

Article abstract

Field measurements made between 1992 and 1998 at Sainte-Anne-de-Beaupré (SAB), a locality near Québec City, revealed that the high marsh microcliff is retreating at a mean annual rate of about 100 cm for the area between the wharf and the mouth of Rivière Sainte-Anne, a distance of approximately 3.5 km. The mean rate of lateral erosion is roughly similar from year to year although there are variations for the three areas surveyed. During the ice-free period (May to the end of October), the rate is slightly greater than that measured for the cold season (November to the end of April). Frost and shore ice are relatively important agents for the erosion of the high marsh. However, the main agents are waves and tidal currents whose activity extends daily over a period of 8 to 10 hours. The low coherence and compaction of the silty and sandy sediment forming the substrate of the high marsh, particularly when saturated, and also the occurrence of sedimentary deformations, are other factors contributing to the relatively high rate of lateral erosion of the high-tide marsh at SAB.

Tous droits réservés © Les Presses de l'Université de Montréal,2000

This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/

érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

https://www.erudit.org/en/

*Géographie physique et Quaternaire*, 2000, vol. 54, n° 1, p. 69-89, 19 fig., 8 tabl.

# ÉROSION RÉCENTE DU SCHORRE SUPÉRIEUR À SAINTE-ANNE-DE-BEAUPRÉ, QUÉBEC

Jean-Claude DIONNE, Département de géographie et Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Les mesures effectuées de 1992 à 1998 à Sainte-Anne-de-Beaupré (SAB), près de Québec, indiquent que la micro-falaise du schorre supérieur recule à un rythme annuel d'environ 100 cm pour l'ensemble du secteur situé entre le quai et l'embouchure de la rivière Sainte-Anne, soit sur une distance d'environ 3,5 km. Le taux de recul est relativement constant d'année en année pour l'ensemble du secteur, mais on observe des variations selon les sous-secteurs. Durant la saison estivale (mai à fin octobre), le taux de recul est légèrement supérieur à celui de la période allant de novembre à la fin avril, ce qui comprend la saison hivernale durant laquelle la micro-falaise est habituellement protégée de l'érosion des vagues. Toutefois, l'action du froid (gel-dégel) et des glaces joue un rôle non négligeable dans le recul de la micro-falaise. L'essentiel de l'érosion est néanmoins attribuable à l'action des vagues et de la marée, la micro-falaise étant exposée à cette activité durant une période journalière de 8 à 10 heures. La faible cohérence et la compaction du matériel limono-sableux, en particulier lorsqu'il est humide, ainsi que la présence de déformations souples (turbations) explique en partie le taux relativement élevé du recul annuel de la micro-falaise du schorre supérieur.

ABSTRACT *Recent erosion of the high marsh at Sainte-Anne-Anne-de-Beaupré, Québec.* Field measurements made between 1992 and 1998 at Sainte-Anne-de-Beaupré (SAB), a locality near Québec City, revealed that the high marsh microcliff is retreating at a mean annual rate of about 100 cm for the area between the wharf and the mouth of Rivière Sainte-Anne, a distance of approximately 3.5 km. The mean rate of lateral erosion is roughly similar from year to year although there are variations for the three areas surveyed. During the ice-free period (May to the end of October), the rate is slightly greater than that measured for the cold season (November to the end of April). Frost and shore ice are relatively important agents for the erosion of the high marsh. However, the main agents are waves and tidal currents whose activity extends daily over a period of 8 to 10 hours. The low coherence and compaction of the silty and sandy sediment forming the substrate of the high marsh, particularly when saturated, and also the occurrence of sedimentary deformations, are other factors contributing to the relatively high rate of lateral erosion of the high-tide marsh at SAB.

ZUSAMMENFASSUNG *Jüngste Erosion der oberen Gezeitenmarsch bei Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec*. Von 1992 bis 1998 durchgeführte Messungen bei Sainte-Anne-de-Beaupré in der Nähe von Québec zeigen, dass die Mikro-Steilküste der oberen Gezeitenmarsch in einem Rhythmus von ungefähr 100 cm jährlich zurückweicht in dem gesamten zwischen dem Kai und der Mündung des Sainte-Anne-Flusses gelegenen Gebiet, d.h. über eine Entfernung von ungefähr 3,5 km. Die Rückweichrate ist von Jahr zu Jahr relativ konstant im gesamten Sektor, doch stellt man Schwankungen in den einzelnen Abschnitten fest. Während des Sommers (Mai bis Ende Oktober) ist die Rückweichrate etwas höher gegenüber dem Zeitraum von November bis Ende April, welcher den Winter einschließt und während dem die Mikro-Steilküste normalerweise von der Erosion durch Wellen geschützt ist. Indessen spielt die Einwirkung der Kälte (Vereisung - Enteisung) und des Eises eine nicht unbedeutende Rolle bei dem Zurückweichen der Mikro-Steilküste. Dennoch ist der Hauptanteil der Erosion der Einwirkung der Wellen und der Flut zuzuschreiben, da die Mikro-Steilküste dieser Aktivität täglich 8 bis 10 Stunden lang ausgesetzt ist. Die geringe Kohärenz und die Packung des Schlamm-Sand-Materials, insbesondere wenn es feucht ist, sowie das Vorkommen von flexiblen Verformungen erklärt zum Teil die relativ hohe Rate des jährlichen Zurückweichens der Mikro-Steilküste der oberen Gezeitenmarsch.

Manuscrit reçu le 15 avril 1999 ; manuscrit révisé accepté le 16 septembre 1999

## INTRODUCTION

Il existe peu de données sur l'érosion des marais intertidaux du Saint-Laurent estuarien, en particulier sur le recul de la micro-falaise du schorre supérieur. Seuls ceux de Montmagny et de Rivière-du-Loup (Dionne, 1986) ainsi que celui de Cap-Tourmente (Troude, 1986) ont fait l'objet de mesures relativement détaillées sur des périodes de 2 à 4 ans. Les autres données disponibles concernant le recul de la marge externe de certains marais intertidaux (Allard, 1981 ; Dryade, 1982 ; Sérodes et Dubé, 1983 ; Denis, 1987 ; Quilliam, 1987 ; Quilliam et Allard, 1989) sont fondées sur des mesures à partir d'un très petit nombre de piquets repères et sur de courtes durées ou ont été faites sur des photographies aériennes, sur des périodes de 20 à 30 ans.

Les marais intertidaux du moyen estuaire du Saint-Laurent et en partie ceux de l'estuaire maritime sont en voie d'érosion depuis environ deux décennies (Dionne, 1986). La plupart reculent à un rythme moyen voisin ou supérieur à 100 cm par année. À première vue, ce phénomène apparaît pour le moins étrange sur un littoral, en principe, en voie d'émersion. Si les agents d'érosion impliqués (vagues, courants, marées et glaces) sont relativement bien connus, on ignore encore la cause exacte du recul récent du schorre supérieur. Certains l'attribuent aux hauts niveaux saisonniers du Saint-Laurent (Anctil et Troude, 1992). D'autres soutiennent que l'érosion du schorre supérieur survient lorsque ce dernier progresse au-dessus du profil d'équilibre ; dans ce cas, il subit un stress hydrodynamique qui provoque une érosion latérale rapide (Drapeau, 1992).

Les marais intertidaux constituant des milieux importants tant du point de vue écologique qu'économique (Chapman, 1977), il paraît urgent de s'y intéresser afin de comprendre leur évolution et de trouver des solutions permettant si possible de les sauvegarder, d'autant plus que la superficie des marais intertidaux au Québec, en particulier ceux à scirpe américain (*Scirpus americanus*) est faible et largement insuffisante pour accommoder les nombreuses espèces qui y vivent, notamment la grande oie des neiges (*Ancer caerulescens atlantica*). C'est pourquoi le Service canadien de la faune (Environnement Canada) a décidé récemment (février 1999) d'autoriser la chasse au printemps, une suggestion pourtant faite il y a une quinzaine d'années (Dionne, 1985c) et préconisée par les chasseurs depuis longtemps.

Cette contribution concerne essentiellement l'érosion du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré (SAB), où des mesures de terrain ont été effectuées entre 1992 et 1998. Une seconde contribution portera sur la formation et l'âge de ce schorre menacé de disparaître au cours des prochaines décennies.

## SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

La localité de Sainte-Anne-de-Beaupré est située sur la rive nord du Saint-Laurent estuarien, à une quarantaine de kilomètres au nord-est de Québec (70° 53' 10" - 70° 55' 45" O ; 47° 01' 15" - 47° 02' 25" N) (fig. 1), et à environ une dizaine de kilomètres du marais intertidal de Cap-Tourmente, un site écologique protégé et réputé du Service canadien de la faune (Environnement Canada), qui a fait l'objet de plusieurs études morphosédimentologiques (Sérodes et Troude, 1984 ; Troude et Sérodes, 1985, 1988, 1990).

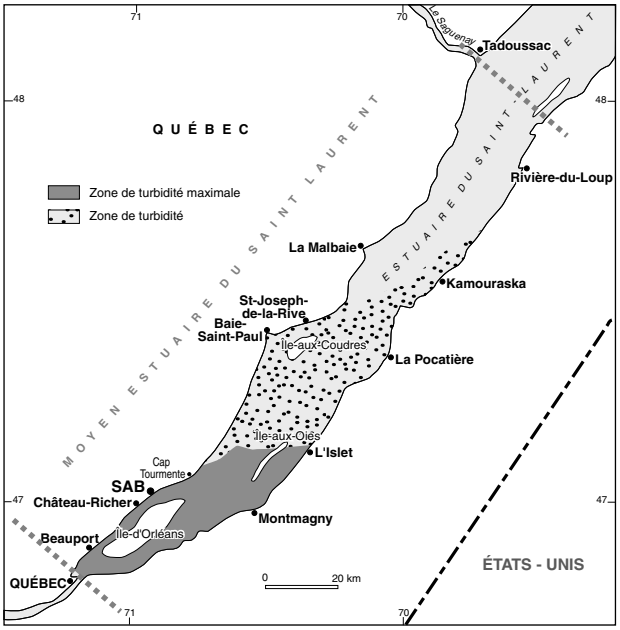


FIGURE 1. Carte de localisation et noms de lieux, moyen estuaire du Saint-Laurent montrant les zones de turbidité.

*Location map and place names, middle St. Lawrence estuary, showing the turbidity zones.*

Le marais intertidal (schorre) de SAB caractérise la partie supérieure du rivage sur l'ensemble de la municipalité et se prolonge sans discontinuité de part et d'autre de cette dernière vers Beauport, en amont, et vers le cap Tourmente, en aval. Le secteur étudié s'étend du quai de SAB jusqu'à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne (fig. 2), sur une distance de 3,8 km.

Le site se trouve à l'extrémité orientale du chenal de l'île d'Orléans (fig. 2). À cet endroit, le chenal est orienté OSO-ENE (environ 60°)[1] ; il a une largeur moyenne de 2,5 km et des profondeurs moyenne et maximale respectives de 7,5 et 12 m (à marée basse), en face de SAB. Par ailleurs, les deux rives du chenal sont caractérisées par de larges estrans à pente faible de 300 à 600 m de largeur. Le marais intertidal de SAB est grossièrement rectiligne et parallèle à l'axe du chenal. D'après une étude récente (Troude *et al.*, 1991), il est relativement bien protégé des vents dominants d'est et d'ouest.

Dans ce secteur, les marées moyennes et de vive eau sont respectivement de 5,2 et 6,2 m avec des extrêmes pouvant atteindre 7 m à l'occasion. Le marnage est de 4,5 m pour les marées moyennes et de 6 m pour les marées de

1. À l'est de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne, l'axe du chenal est E-O jusqu'à l'extrémité orientale de l'île d'Orléans ; passé ce point, la côte de Charlevoix est orientée SO-NE.

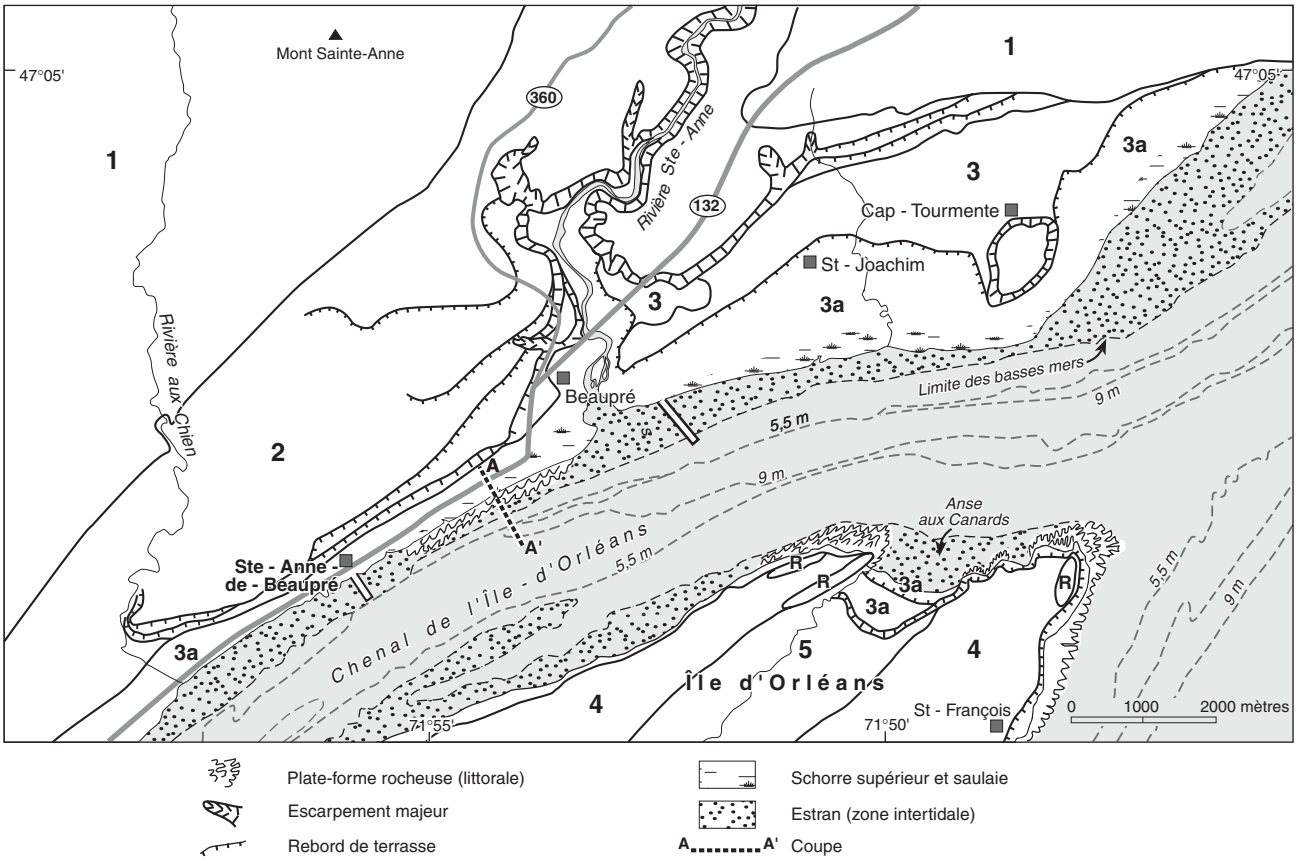


FIGURE 2. Carte morphologique schématique de SAB et des environs. 1, Bouclier laurentidien ; 2, Basses terres du Saint-Laurent (Hautes terrasses); 3, terrasse de 8-15 m; 3a, terrasse Mitis ; 4, crête appalachienne ; 5, dépression avec dépôt holocène fin ; R, roc.

*A schematic geomorphic map of SAB and the surrounding area. 1, Laurentidian shield; 2, St. Lawrence lowlands (high terraces); 3, 8-15 m terrace; 3a, Mitis terrace; 4, Appalachian ridge; 5, depression filled with fine grained sediment (Holocene); R, rock.*

vive eau. De type semi-diurne, le cycle de la marée accuse une dissymétrie prononcée, la durée du flot étant d'environ 5 heures et celle du jusant de 7 heures. Le niveau moyen de l'eau (zéro géodésique) est de 2,6 m (Canada, 1998).

La température moyenne annuelle est de 4,5 °C, celle de juillet et de janvier respectivement de 18,5° et de -11,5°. Les précipitations totales moyennes sont de 1140 mm dont 22 % environ sous forme de neige[2].

La période glacielle proprement dite s'étend de décembre à la fin mars, bien que la plupart des années il y ait une certaine activité glacielle sur le rivage en novembre et en avril. D'épaisseur variable mais généralement de 50 à 125 cm, le couvert de glace couvre rarement d'une façon continue la nappe d'eau d'une rive à l'autre comme c'est le cas en amont de SAB, notamment à partir de Château-Richer. Dans le secteur de SAB et à l'extrémité NE de l'île d'Orléans, la marée a pour effet de fractionner le couvert glaciel dans le chenal, de sorte que les radeaux de glace se déplacent constamment avec le va-et-vient de la marée. En réalité, seul l'estran et la partie adjacente, présentent, au pléni-glaciel une couverture de glace continue plus ou moins uniforme. Le déglacement survient généralement durant la deuxième moitié de mars, le plus souvent durant la dernière semaine ou encore la première semaine d'avril pour la partie supérieure du rivage[3]. Il est plus précoce à SAB que dans le secteur amont du chenal de l'île d'Orléans ; le décalage est d'une dizaine à une quinzaine de jours. Bien que déglacée en premier, la batture de SAB subit néanmoins l'effet des glaces provenant du secteur amont durant une période de deux à trois semaines. De gros radeaux de glace entraînés par le jusant affouillent et labourent le fond vaseux de la batture. On peut donc, chaque année, observer à cet endroit la plupart des phénomènes glaciels déjà signalés ailleurs (Dionne, 1980, 1985b, 1988).

Quant au schorre supérieur, il est recouvert d'une couche de glace agglomérée et de neige d'une épaisseur moyenne de 100 à 125 cm, sur une largeur de 10 à 30 m dans la partie externe. Le schorre supérieur est le premier à être

2. En l'absence de station météorologique standard à SAB, les données sont une estimation à partir de la station de l'aéroport de Québec, de celle de Saint-Féréol et de celle de Saint-François (île d'Orléans).

3. Il arrive cependant des déglacements précoces au cours de la période hivernale. En 1999, par exemple, la majeure partie du couvert glaciel est disparue avec les marées de vie eau, à la mi-février. Habituellement, le couvert glaciel se reforme par la suite dans la zone intertidale et même au large ; ce ne fut pas le cas en 1999.

englacé et le dernier à être déglacé (fig. 3). L'englacement s'étend souvent sur une période excédant un mois. Les fragments de glace dont il est formé contiennent beaucoup de vase. Le déglacement du schorre supérieur survient une semaine ou davantage après celui du bas estran. Plus épaisse dans la partie externe, la glace fragmentée est généralement soulevée par la marée avant d'être évacuée. Étant soudée à la surface du marais, elle arrache fréquemment de grands radeaux (2 à 6 m de long et 30 à 40 cm d'épaisseur) de schorre, créant ainsi un premier replat d'érosion exploité ensuite par les vagues. Dans la partie interne, la glace est plus mince et fond généralement sur place, restituant au schorre supérieur la vase accumulée au cours de l'hiver (en moyenne un centimètre d'épaisseur). Par ailleurs, la micro-falaise du schorre supérieur, généralement englacée durant le pléni-glaciel, subit les effets érosifs des glaces lors de la débâcle et du dégel.

FIGURE 3. Vue générale du schorre supérieur de SAB au cours du déglacement. La micro-falaise englacée apparaît par endroits alors que la surface est couverte de glace agglomérée et de neige (28-3-97).

*A general view of the high marsh at SAB at breakup. The microcliff and the surface of the high marsh are still covered by dirty conglomerated ice (97-3-28).*

## ZONATION DU RIVAGE

À Sainte-Anne-de-Beaupré, le rivage s'étend de la limite supérieure des plus hautes eaux (environ 6,2 m marégraphique) à la limite inférieure des plus basses eaux (environ 30 cm marégraphique), soit sur une largeur comprise entre 500 et 750 m. Du large vers la rive, on observe quatre unités principales (fig. 4).

1. Entre le zéro marégraphique et le zéro géodésique (2,6 m), existe une zone meuble dénudée (vasière) de 200 à 350 m de largeur, comprenant des débris glaciels grossiers dont des méga-blocs. En surface, une couche de vase molle, en été et au printemps, d'une épaisseur de 10 à 15 cm en moyenne mais atteignant 20 à 25 cm par endroits, recouvre un substrat limono-sableux d'une épaisseur inconnue, mais localement de plusieurs mètres. La partie inférieure de l'estran peut donc être qualifiée de slikke ou de vasière (Verger, 1968).

2. Fait suite à la slikke, une seconde zone vaseuse, de 50 à 100 m de largeur, couverte, en été, par un tapis végétal relativement dense, appelée schorre inférieur (fig. 5). Le tapis végétal est composé en majeure partie de scirpe américain (*Scirpus americanus* ou *S. pungens*) et d'un faible pourcentage de sagitaires (*Sagitaria sp.*)[4] et de zizanie (*Zizania aquatica*). Le tapis végétal, qui atteint entre 50 et 75 cm de hauteur au mois d'août, disparaît à la fin de l'automne pour réapparaître en juin. Il retient les sédiments en suspension de sorte qu'une couche de vase fraîche de 10 à 20 cm peut être observée au début de septembre. Fait intéressant à signaler, l'épaisseur de la couche de vase augmente sensiblement en octobre par suite de l'érosion par les oies des battures de Cap-Tourmente et des environs. Le tapis végétal est alors couché au sol et recouvert de vase fraîche. Dans les secteurs central et occidental, la zone du schorre inférieur est aussi caractérisée sur environ 2,5 km par une plate-forme rocheuse taillée dans des grès et des schistes ordoviciens (St-Julien, 1977), qui se prolonge sous le schorre supérieur et en constitue le substrat (fig. 6 et 7).

3. La troisième zone correspond au schorre supérieur délimité du côté externe sur la majeure partie (95 %) de son étendue par une micro-falaise (fig. 8). Le tapis végétal y est dense et diversifié. Le substrat est composé de minces lits de sable fin et de limon. La largeur varie de 30 à 200 m avec une prédominance entre 40 et 60 m.

4. Lui fait suite vers l'intérieur des terres, une zone humide (arrière schorre ou saulaie), colonisée par des saules arbustifs (*Salix discolor*, *S. rigida*) et inondée seulement lors des plus hauts niveaux. La limite naturelle de cette zone est généralement indiquée par une rangée de gros saules (*S. fragilis*). À plusieurs endroits, cependant, des empiétements ont fait disparaître en partie ou entièrement cette unité. La largeur varie de 65 à 175 m. Le tracé de la Nationale 138 suit la limite interne de la saulaie (fig. 9).

Il convient de signaler aussi la présence de nombreux fossés de drainage, perpendiculaires au rivage, creusés dans le schorre supérieur et l'arrière schorre ; inondés à marée haute, ces fossés s'élargissent progressivement et forment alors des entonnoirs d'érosion dans la partie externe du schorre supérieur (fig. 6). Ce dernier recule donc non seulement latéralement mais aussi à la faveur des fossés de drainage ; il y en a une trentaine de principaux et une dizaine de petits.

## CARACTÉRISTIQUES DU SCHORRE SUPÉRIEUR

Le schorre supérieur est situé dans la partie interne la plus élevée du rivage ; en principe, cette zone est submergée uniquement lors des marées de vive eau (Verger, 1968). Ce n'est pas forcément le cas présentement à SAB où la partie externe du schorre supérieur est régulièrement inondée sur quelques dizaines de mètres de largeur lors des marées moyennes alors qu'il est entièrement submergé lors des

4. Trois sagitaires ont été observées sur les battures du chenal nord de l'île d'Orléans et à Cap-Tourmente : *Sagitaria rigida*, *S. cuneata* et *S. latifolia* (Lacoursière et Grandtner, 1971).

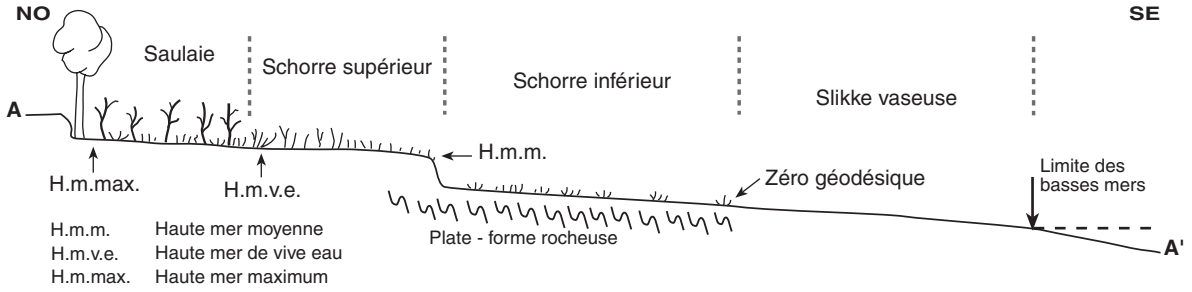


FIGURE 4. Transect schématique du rivage à SAB.

*A schematic transverse section of the shore zone at SAB.*

FIGURE 5. Vue générale du marais intertidal de SAB, en été, montrant les deux niveaux : le schorre inférieur à scirpe américain et le schorre supérieur délimité par une micro-falaise de 160 à 200 cm de hauteur (27-6-92).

*A general view of the intertidal marsh at SAB in summer showing the low marsh covered by American bullrush and the high marsh separated by a microcliff 160-200 cm high (92-6-27).*

FIGURE 6. Vue aérienne oblique d'un petit secteur du schorre supérieur et de la saulaie à SAB. La route suit la limite supérieure naturelle des plus hautes eaux. À noter les nombreux empiètements et les fossés de drainage. La zone dénudée au front de la micro-falaise est une plate-forme rocheuse voilée de minces placages de vase fraîche ; elle se prolonge sous le schorre supérieur et en constitue le substrat (18-11-91).

*A general view of a small sector of the high marsh and the associated willow zone at SAB. The road follows the natural upper limit of the highest water level. Note the numerous encrochings and drainage ditches. The bare zone in front of the microcliff is a rock platform covered by a thin layer of mud freshly deposited; the platform also underlies the high marsh (91-11-18).*

marées de vive eau qui ennoient aussi la saulaie. Durant la période de morte eau, la base de la micro-falaise et parfois les replats d'érosion sont ennoyés et soumis quotidiennement à l'érosion. La surface du schorre supérieur est relativement plane, uniforme et en pente faible (0,25 à 0,5 %). Le rebord externe correspond à la cote de 4,5 à 5 m alors que la partie arrière s'élève jusqu'à 5,5 – 6 m.

À Sainte-Anne-de-Beaupré, le schorre supérieur dans le secteur étudié est caractérisé par une micro-falaise (fig. 10) de 30 à 200 cm de hauteur[5]. Sur environ 70 % du secteur, la hauteur de la micro-falaise est supérieure à 75 cm, alors qu'elle excède 125 cm sur environ 40 %. Le profil de la micro-falaise varie beaucoup étant tantôt vertical, avec ou sans encorbellement, tantôt à large rampe inclinée (5° à 8°), tantôt à replats simples, doubles ou multiples de largeur variable (fig. 11). Là où elle est verticale, les vagues creusent parfois des cavités de taille métrique (fig. 12) dont l'existence est de courte durée. À quelques endroits, en particulier dans les rentrants, la micro-falaise est partiellement cachée par le tapis végétal (unité 3) qui s'affaisse par appel au vide (fig. 13).

Dans les secteurs où la micro-falaise est verticale et où elle atteint ou excède 150 cm de hauteur, on peut observer trois unités (faciès) sédimentaires superposées (fig. 14). À la base apparaît une unité gris pâle, compacte, de 10 à 30 cm d'épaisseur visible, constituée de lamines limono-sableuses plus ou moins parallèles et horizontales, mais souvent turbées ou plissottées, contenant parfois des débris organiques et des bouts de bois transportés. Ce dépôt relativement compact correspond à un faciès de slikke, c'est-à-dire à un dépôt typique de la partie inférieure de la batture dénudée (vasière ou slikke). Au-dessus de l'unité de base, on trouve un dépôt stratifié, de 60 à 110 cm d'épaisseur, composé de minces couches horizontales de sable fin et de limon sableux contenant d'abondants débris de plantes en place (tiges et racines),

5. D'après un rapport récent consacré à la restauration des rives du Saint-Laurent (Argus, 1996), le secteur entre le quai et l'embouchure de la rivière Sainte-Anne (celui que nous avons étudié) est qualifié de 100 % naturel alors qu'il y a de très nombreux empiétements. On dit aussi que le profil de la rive est sans rupture de pente ou sans escarpement, que la rive est stable et sans marque d'érosion ou absence de micro-falaise. Visiblement, les lieux n'ont pas été visités. Les relevés faits à partir des photographies satellitaires ne donnent pas toujours une image fidèle de la réalité sur le terrain.

FIGURE 7. Plate-forme rocheuse littorale taillée dans des grès et des schistes (Ordovicien), à fort pendage, formant le substrat du schorre supérieur délimité par une micro-falaise de 175 cm de hauteur (26-10-95).

*A rocky shore platform cut into interbedded sandstone and shale (Ordovician) with layers dipping southward and forming the substrate on which the high marsh has been built (95-10-26).*

FIGURE 8. Vue générale vers le quai de SAB du schorre supérieur et de la micro-falaise dans le secteur occidental, à l'automne. À noter la surface faiblement inclinée. Contrairement au tapis végétal saisonnier du schorre inférieur, celui du schorre supérieur est permanent (23-11-91).

*A general view of the high marsh and microcliff at SAB, in autumn, in the western sector. Note the slightly inclined surface and the contrasting vegetation cover between the two marsh levels (91-11-23).*

ainsi que des bouts de bois épars, des artefacts, des cailloux et quelques mollusques d'eau douce (*Ellipsio* sp. et de petits gastéropodes). Ce dépôt gris moyen, légèrement brunâtre, et de faible consistance surtout à l'état humide, correspond à un faciès de schorre inférieur. Il est caractérisé par des structures sédimentaires et des déformations glacielles (Dionne, 1998). En surface, on trouve une troisième unité de couleur relativement foncée, composée de limon sableux (vase) et de débris de plantes en place (racines et tiges) formant un tapis végétal dense et consistant d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur. Caractéristique d'un faciès de schorre supérieur, ce dépôt continue de s'épaissir grâce aux apports de vase lors des marées de vive eau et au résidu laissé par la fonte du couvert glaciel.

## MÉTHODES

Le marais intertidal de SAB a été étudié d'une façon continue de 1992 à 1998. Les relevés ont porté sur l'ensemble des caractéristiques morpho-sédimentologiques du milieu : érosion et taux de recul de la micro-falaise du schorre supérieur, taux de sédimentation à court et à long terme, ainsi que sur les processus en action, en particulier sur l'action des glaces flottantes et du froid. Il sera question ici principalement de l'érosion latérale récente du schorre supérieur. Compte tenu de son étendue, nous l'avons subdivisé en trois sous-secteurs : 1) occidental à l'ouest, 2) central, et 3) oriental à l'est, d'une longueur respective de 800, 700 et 1500 m (fig. 2 et 9).

### MESURES DE TERRAIN

Les mesures relatives au recul de la micro-falaise du schorre supérieur couvrent la période de 1992 à 1998. Les 7 et 13 mai, 1992, 92 piquets de bois (5 x 5 cm) ont été plantés à 4 m du rebord externe de la micro-falaise du schorre supérieur, soit 34 piquets dans le secteur occidental, 16 dans le secteur central et 44 dans le secteur oriental.

De 1992 à 1996, des relevés ont été faits chaque année à l'automne (fin octobre-début novembre) et au printemps (avril et mai). En raison de la perte importante des piquets de bois dans les trois secteurs, seules les données de 1993 et 1994 ont été retenues (tabl. I).

La perte importante de piquets de bois nous a incité à recourir à des piquets métalliques. Ainsi, les 11 et 12 mai 1994, nous avons placé 61 piquets métalliques, de 70 cm de longueur, à 4 m du rebord externe du schorre supérieur. Nous en avons replanté 12 dans le secteur occidental le 29 mai 1996.

De 1994 à 1998, huit relevés ont été faits. Le taux de recouvrement des piquets métalliques a été supérieur à celui des piquets de bois (tabl. II et III). Toutefois, si la durée des piquets métalliques est supérieure à celle des piquets de bois, au-delà d'une période de deux ans, la valeur des données diminue sensiblement, car il subsiste seulement les piquets où l'érosion a été la moins rapide. Les piquets disparus n'étant pas comptabilisés dans le taux de recul annuel, ce dernier est donc un taux minimal, qui nécessite un ajustement.

### AUTRES OBSERVATIONS ET MESURES

De nombreuses observations ont aussi été faites sur les processus d'érosion du schorre supérieur par les vagues et par les glaces, ainsi que sur la sédimentation saisonnière à la fois sur le schorre supérieur et le schorre inférieur. Les trois faciès observés dans la micro-falaise ont été étudiés et nous avons recueilli de nombreux échantillons de bois, de débris organiques et de mollusques pour datation au radiocarbone.

Un examen de photographies aériennes multi-dates a permis de constater que le schorre de SAB était en voie d'érosion depuis plusieurs décennies. Sur la série de 1964 à l'échelle de 1/15 840, on perçoit facilement la micro-falaise du schorre supérieur et la plate-forme rocheuse intertidale.

FIGURE 9. Photographie aérienne verticale du schorre supérieur et de la zone côtière, à SAB, à mi-marée (Q-72304-46).

*A vertical air photo of the intertidal marsh and the coastal zone, at SAB, at mid-tide (Q-72304-46).*

## RÉSULTATS

De 1992 à 1996, le taux moyen de recul de la micro-falaise du schorre supérieur pour l'ensemble du secteur a été de 104,9 cm par année (tabl. I). Ce taux a varié légèrement d'année en année, mais il fut plus élevé la première année suivant la pose des piquets, un phénomène attribuable à la disparition d'un certain nombre de piquets repères, ce qui fausse légèrement les données en réduisant le taux réel de recul, les piquets retrouvés correspondant généralement à des sites où le taux de recul est plus faible. Ainsi, pour la première série de piquets de bois, le taux de recul de 1992 à 1993 a été de 116,6 cm, alors que l'année suivante il a chuté à 95,6 cm. Il convient de mentionner que seulement 33,7 des piquets de bois (31 sur 92) plantés en mai 1992 ont été retrouvés et mesurés en mai 1993, alors que ce taux est tombé à 23,9 % en 1994.

Les résultats pour la deuxième série de piquets (1994-1996) sont semblables, soit 104,5 et 102,9 cm, mais le taux de recouvrement a été largement supérieur, 81,9 % des piquets métalliques ayant été retracés en 1995 et 77 % en 1996. On peut donc affirmer que dans son ensemble la micro-falaise du schorre supérieur à SAB recule à un taux annuel légèrement supérieur à 100 cm. Toutefois, il existe beaucoup de variations d'un point à l'autre et d'année en année, certains points reculant beaucoup plus rapidement que d'autres. Les taux minimaux enregistrés de 1992 à 1996 varient de 30 à 55 cm alors que les taux maximaux vont de 150 à 310 cm.

### DONNÉES PAR SECTEUR

Il existe cependant des variantes importantes lorsque l'on examine les données de chaque secteur (tabl. I à III). Ainsi,

FIGURE 10. Aspect typique de la micro-falaise du schorre supérieur à SAB dans le secteur central où la hauteur varie entre 175 et 200 cm (19-5-93).

*Typical aspect of the high marsh micro-cliff at SAB in the central sector where the scarp ranges from 175 to 200 cm in height (93-5-19).*

de 1992 à 1993, le secteur oriental a reculé à un taux moyen de 131,2 cm, alors que le secteur occidental a reculé de 113,6 cm et le secteur central de 92,2 cm seulement. L'érosion latérale semble donc avoir été plus forte aux extrémités. De 1993 à 1994, l'érosion a été plus importante pour le secteur occidental (104,4 cm), alors qu'elle s'est maintenue à peu près au même taux dans le secteur central (90 cm), et qu'elle a diminué sensiblement dans le secteur oriental (97,5 cm). Rappelons ici que le taux de recouvrement des piquets de bois dans le secteur oriental n'a été que de 18,2 % (8 piquets sur 44), ce qui correspond à un faible degré de confiance.

Les mesures faites en 1995 et 1996 indiquent, elles aussi, des variations du taux de recul annuel selon les secteurs. Ainsi, en 1995, le taux de recul a été respectivement de 142,5, 102,6 et 69,2 cm selon les secteurs (tabl. II). Le taux de recul a diminué de 1995 à 1996, passant à 99,3 cm dans le secteur occidental pour un même nombre de piquets métalliques, alors qu'il a augmenté dans les deux autres secteurs passant à 113,3 cm dans le secteur oriental et à 81,5 cm dans le secteur central.

Par ailleurs, à l'intérieur même de chacun des secteurs, on constate un recul contrasté. Ainsi, de 1992 à 1993, le recul minimal et maximal ont été respectivement de 40, 50 et 50 cm, et de 100, 120 et 210 cm pour les trois secteurs. De 1993 à 1994, le taux minimal a été respectivement de 90, 80 et 55 cm contre 110, 120 et 150 cm pour le taux maximal. De 1994 à 1995, le taux minimal a légèrement diminué passant à 40, 30 et 40 cm pour les trois secteurs, alors que le taux maximal a été respectivement de 310, 130 et 210 cm. De 1995 à 1996, le taux minimal a été de 25, 55 et 55 cm dans chaque secteur, alors que le taux maximal a atteint seulement 160, 170 et 165 cm. Pour la période de 1996 à 1998, nous disposons de données seulement pour le secteur occidental (tabl. III). Les piquets métalliques placés en mai 1996 ont permis de calculer un taux moyen de recul de 113,6 cm pour la première année et de 100,3 cm pour la deuxième année, le pourcentage de recouvrement des piquets étant respectivement de 91,6 % et 66,7 %. Le taux minimal enregistré a été de 90 cm en 1997 et de 70 cm en 1998, alors que le taux maximal fut de 170 et de 157 cm.

Sur une période de six ans de mesures continues, le taux moyen de recul de la micro-falaise du schorre supérieur dans le secteur occidental fut donc de 112,2 cm, soit à peu près la valeur enregistrée en 1993 et en 1997 (113,6 cm), c'est-à-dire la première année après la pose des piquets.

## COMPARAISON DU TAUX DE RECUL À SAB AVEC CELUI D'AUTRES SITES

Le taux moyen annuel de recul de la micro-falaise du schorre supérieur à SAB est-il comparable à celui de d'autres sites du moyen estuaire ainsi qu'avec celui mesuré dans d'autres pays ?

### MOYEN ESTUAIRE

Bien que la plupart des schorres supérieurs du Saint-Laurent estuarien soient en voie d'érosion (Dionne, 1986, 1993, 1999), on dispose de peu de données sur l'érosion latérale du schorre supérieur dans le moyen estuaire. Le tableau IV résume les données disponibles.

À Cap-Tourmente, de novembre 1981 à novembre 1983, Troude et Sérodes (1985) ont mesuré un taux moyen de recul annuel de 250 cm pour la micro-falaise haute et, par comparaison de photographies aériennes, un taux moyen annuel à long terme (1961 et 1981) de 180 cm. Troude (1986, p. 87-88) fournit deux tableaux détaillant les mesures de terrain effectuées à Cap-Tourmente. Les résultats n'ayant malheureusement pas été interprétés, il apparaît utile de les commenter brièvement. Les mesures concernent deux tronçons de 100 m de long chacun avec 21 points de mesure, soit une mesure à tous les 5 m. Un des tronçons correspond à une micro-falaise haute (> 1 m), l'autre à une micro-falaise basse (30 à 50 cm).

De novembre 1981 à novembre 1983 (tabl. V), le taux moyen de recul dans le premier tronçon a été de 512,6 cm avec médiane de 510 cm, minimum de 244 cm et un maximum de 750 cm. Sur une période de deux ans, la moyenne annuelle a donc été de 256 cm. Fait intéressant à mentionner, le taux moyen de recul au cours de la première année a été seulement de 142 cm alors qu'il a atteint 370 cm la deuxième année. Ces valeurs indiquent une grande variabilité d'année en année, de sorte que les mesures à très court terme doivent être interprétées avec prudence d'autant plus que les mesures ont été effectuées sur un tronçon de 100 m seulement alors que la longueur de la falaise haute fait environ 2 km.

Curieusement, le taux de recul de la micro-falaise basse est deux fois inférieur à celui de la micro-falaise haute, la moyenne annuelle étant de 124,3 cm sur une période de deux ans, avec une médiane de 76,5 cm, un minimum de 7 cm et un maximum de 326,5 cm (tabl. VI). Pour l'ensemble du secteur mesuré, le taux de recul de la micro-falaise a toutefois été semblable en 1981-1982 et en 1982-1983, soit respectivement 153,6 et 143,9 cm.

FIGURE 11. Profils typiques de la micro-falaise et de la rampe du schorre supérieur à SAB.

*Typical profiles of the microclif and the ramp of the high marsh at SAB.*

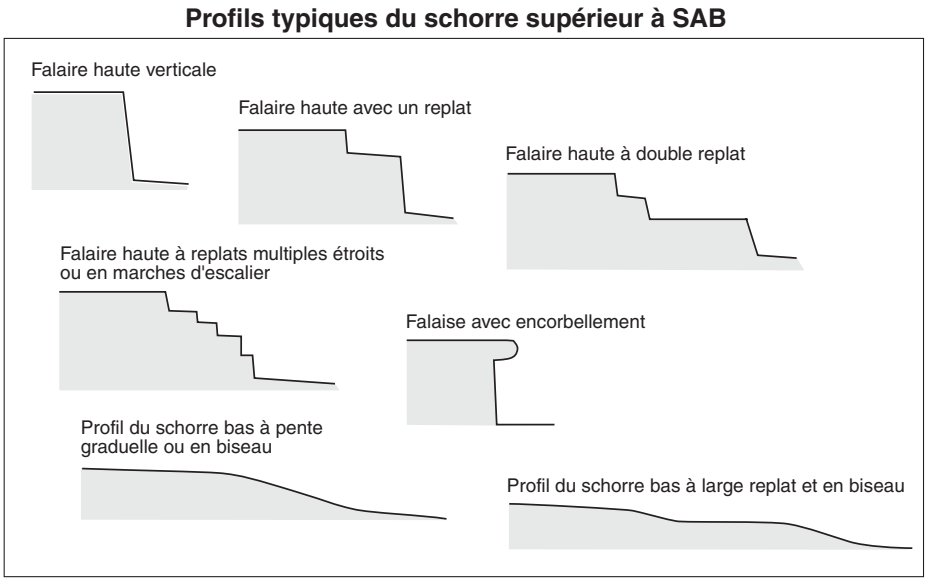

FIGURE 12. Micro-falaise de 200 cm de hauteur avec cavités creusées par les vagues, schorre supérieur de SAB (7-6-98).

*Caves made by wave erosion in a 200 cm high microcliff at SAB (98-6-7).*

FIGURE 13. Érosion typique d'un fossé de drainage par affouillement des unités 1 et 2 du schorre supérieur. Le tapis végétal et minéral (unité 3) du schorre supérieur forme alors un encorbellement ou recouvre la micro-falaise (7-6-98).

*Typical aspect of lateral erosion of a drainage ditch by undermining the substrate of the high marsh. The vegetal and mineral carpet is then bending downward (98-6-7).*

À Montmagny, le taux moyen de recul de la micro-falaise du schorre supérieur, de septembre 1984 à la fin d'août 1986, a été de 102 cm pour l'ensemble des trois secteurs mesurés, soit respectivement de 86, 112 et 190 cm (Dionne, 1986). Ce taux s'est maintenu depuis et a même augmenté. Les nouvelles mesures effectuées dans les deux secteurs situés à l'est de la rivière du Sud indiquent un taux moyen annuel de 153,5 cm, de 1995 à 1996, alors que dans le secteur à l'ouest de la rivière du Sud, le taux moyen de recul a été de 202,5 cm, de 1996 à 1997 (Bouchard, 1999 Dionne et Bouchard, soumis).

À Rivière-du-Loup, la micro-falaise du schorre supérieur a reculé à un taux moyen annuel de 273 cm pour l'ensemble du secteur, mais avec un taux différent pour le secteur sud et le secteur nord-est, le premier ayant enregistré un recul moyen annuel de 166 cm de 1983 à 1985 et le second de 376 cm de 1983 à 1986 (Dionne, 1986). Des taux semblables ont été signalés par Denis (1987) pour la période de novembre 1982 à juillet 1984, bien que le taux moyen annuel pour l'ensemble du secteur ait été inférieur (185 cm) à celui que nous avons mesuré à partir de plusieurs dizaines de piquets repères.

D'après Quilliam et Allard (1989), les mesures effectuées sur photographies aériennes ont permis d'établir qu'à Saint-Joseph-de-la Rive (Charlevoix), entre 1964 et 1985, la micro-falaise du schorre supérieur a reculé à un taux moyen annuel de 115 cm.

Le taux moyen annuel de recul de la micro-falaise du schorre supérieur à SAB est donc comparable à celui de Montmagny pour les années 1984 à 1986 et à celui, à long terme, du schorre de Saint-Joseph-de-la-Rive, alors qu'il est inférieur à celui mesuré à Cap-Tourmente, entre 1981 et 1983, et à Rivière-du-Loup, entre 1983 et 1986.

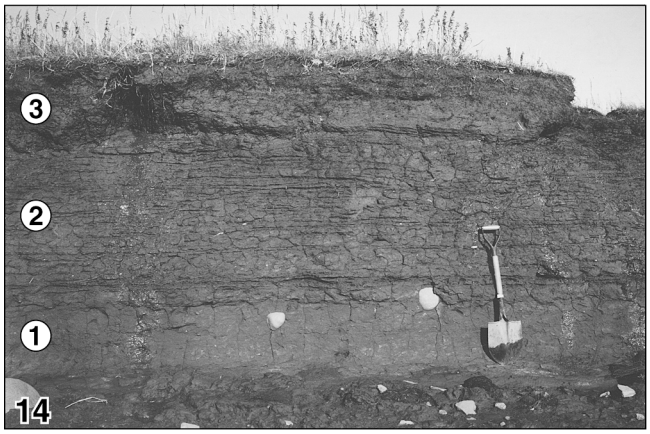


FIGURE 14. Coupe verticale dans le schorre supérieur montrant trois unités sédimentaires : (1) limon et sable fin finement stratifiés et compact à la base (faciès de slikke) ; (2) sable fin limoneux (vase) stratifié en lits minces, moyennement compact, contenant des racines de scirpe, au milieu (faciès du schorre inférieur) ; (3) limon sableux avec abondance de débris végétaux (faciès du schorre supérieur), au sommet (3-11-94).

*A vertical section in the high marsh scarp showing three sedimentary units: (1), thinly stratified fine sand and silt, relatively compact, at base (mud flat facies); (2), thinly stratified silty fine sand, medium compact with roots of American bullrush (low marsh facies) in the middle; (3), sandy silt with abundant organic debris (roots and twigs) (high marsh facies) at top (94-11-3).*

AUTRES PAYS

Bien que la plupart des marais intertidaux dans le monde soient en voie d'érosion, il existe relativement peu de données sur les taux de recul annuel de la micro-falaise (Verger, 1968 ; Guilcher, 1981 ; Allen et Pye, 1992 ; Paskoff, 1994).

Le tableau VII résume les données disponibles. On constate des variations importantes selon les sites et les régions. Il s'avère cependant difficile de faire des comparaisons valables avec les données obtenues à SAB, les méthodes de mesure variant beaucoup selon les auteurs ; certains taux sont à court terme, d'autres à long terme dans des sites variés, les uns touchés par l'érosion des vagues, d'autres par le déplacement latéral de chenaux de marée dans des estuaires. Dans ce cas, le recul de la micro-falaise du schorre peut atteindre plusieurs mètres par année, alors qu'il excède rarement 100 cm là où la micro-falaise est située en fond de baie ou en bordure de larges battures vaseuses, loin des chenaux de marée.

La majorité des données pour l'Europe, les États-Unis et la Tunisie indiquent un taux de recul annuel généralement inférieur à 100 cm. Néanmoins, quelques auteurs ont signalé des taux de recul annuels compris entre 100 et 250 cm (Lüders, 1937; De Glopper, 1981; Ehlers, 1988b; Reed, 1988; Wray *et al*., 1995), alors que deux auteurs seulement ont rapporté un taux maximal de 300 cm (Ward *et al*., 1988; Phillips, 1989).

Le taux exceptionnel de 50 m par an mesuré par Pringle (1995) s'explique par la migration latérale rapide d'un chenal de marée. Il s'agit donc d'un cas particulier non représentatif de la situation habituelle. Quant au recul spectaculaire (1 km) du schorre de la baie du Mont-Saint-Michel, de 1952 à 1957 (Verger, 1968, p. 289 ; Guilcher, 1981, p. 46), il est attribuable au déplacement d'un chenal divaguant et constitue donc lui aussi un cas assez exceptionnel. Depuis, ce schorre a connu une extension importante dans le secteur situé à l'ouest du Couesnon (Le Rhun *et al.,* 1989), alors qu'il a reculé par endroits dans le secteur est.

Comparé à l'ensemble des taux rapportés au tableau VII, celui du schorre de SAB doit être classé parmi les taux relativement élevés d'érosion latérale du schorre supérieur.

## LES AGENTS D'ÉROSION DU SCHORRE SUPÉRIEUR

Divers agents jouent un rôle dans l'érosion du schorre supérieur de SAB. Les deux principaux sont évidemment les vagues et les courants de marée, d'une part, et les glaces et le gel-dégel, d'autre part. À ces derniers, il faut ajouter le ruissellement et l'activité biologique et anthropique qui contribuent entre 5 et 10 % de l'érosion totale[6] .

Les mesures effectuées de 1992 à 1998 ont permis de constater qu'entre 50 et 60 % du taux de recul annuel de la micro-falaise du schorre supérieur se produisait durant la période allant de mai à la fin octobre, appelée période interglacielle. Durant cette période, l'érosion est essentiellement due à l'activité des vagues et des courants de marée qui servent à affouiller la micro-falaise et à évacuer les sédiments fins remis en suspension.

Compte tenu de la direction des vents dominants et des tempêtes dans ce secteur de l'estuaire (Troude, 1986), les mois d'été sont plutôt des périodes calmes durant lesquelles la vase se dépose sur les battures, en particulier dans la zone du schorre inférieur à scirpe américain (*Scirpus americanus*). L'érosion de la micro-falaise est donc généralement faible en juillet et août, excepté lors de tempêtes occasionnelles. L'essentiel du recul de la micro-falaise se produit habituellement en mai-juin (surtout en mai) et en septembre-octobre (surtout en octobre), comme on a pu le constater sur le terrain au cours de la période d'observation.

L'efficacité des vagues dans l'érosion de la micro-falaise est d'une part liée à la faible consistance du matériel limono-sableux composant l'essentiel du substrat du schorre supérieur, en particulier l'unité 2, et, d'autre part, à la durée d'action des vagues. En effet, à SAB, la micro-falaise est atteinte à chaque marée haute (fig. 15). Durant les marées de vive eau, la micro-falaise est exposée à l'action des vagues durant une période d'environ deux heures pour la marée montante et trois heures pour la marée descendante. Comme les marées sont semi-diurnes, la période d'exposition à l'érosion par les vagues et les courants dure, en moyenne, entre 8 et 10 heures par jour. Le recul de la micro-falaise s'accentue avec l'augmentation de sa hauteur; l'action érosive des vagues est plus efficace sur une surface verticale que sur une surface inclinée laquelle a plutôt tendance à dissiper l'énergie.

6. Estimation basée sur les observations de l'auteur et des mesures de terrain faites au cours des trois dernières décennies.

TABLEAU I

*Recul latéral de la micro-falaise du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré (SAB), 1992-1994*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Date: | 7-5-92 | 13-5-92 | 13-5-92 | |
| Secteur : | 1 | 2 | 3 | Ensemble |
| NPP[1] : | 34 | 16 | 44 | 92 |
| Date du relevé : | 18-5-93 | 18-5-93 | 19-5-93 | |
| NPR[1] : | 14 (41,2 %) | 9 (56,2 %) | 8 (18,2 %) | 31 (33,7 %) |
| Recul en cmMin.: | 50 | 50 | 40 | 40 |
| Max.: | 190 | 120 | 210 | 210 |
| Méd.: | 100 | 100 | 140 | 100 |
| Moy. : | 113,6 | 92,2 | 131,2 | 116,6 |
| Date du relevé : | 11-5-94 | 11-5-94 | 11-5-94 | |
| NPR[1] : | 6 (17,6 %) | 8 (50 %) | 8 (18,2 %) | 22 (23,9 %) |
| Recul en cmMin.: | 180 (90)[2] | 160 (80) | 110 (55) | 110 (55) |
| Max.: | 220 (110) | 240 (120) | 300 (150) | 300 (150) |
| Méd.: | 210 (105) | 180 (90) | 220 (110) | 190 (95) |
| Moy.: | 200,8 (104,4) | 180 (90) | 195 (97,5) | 191,2 (95,6) |

[1]NPP : nombre de piquets placés ; NPR : nombre de piquets retrouvés
[2]Chiffre entre parenthèses : taux de recul annuel moyen

TABLEAU II

*Recul latéral de la micro-falaise du schorre supérieur à SAB Série de piquets métalliques 1994-1996*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Date de la pose : | 11-05-94 | 11-05-94 | 12-05-94 | |
| Secteur : | 1 | 2 | 3 | Ensemble |
| NPP : | 23 | 14 | 24 | 61 |
| Date du relevé : | 11-05-95 | 11-05-95 | 11-05-95 | |
| NPR[1]: | 14 (60,8 %) | 13 (92,8 %) | 23 (95,8 %) | 50 (81,9 %) |
| Recul en cmMin.: | 40 | 30 | 40 | 30 |
| Max.: | 310 | 130 | 210 | 310 |
| Méd.: | 150 | 70 | 90 | 100 |
| Moy.: | 142,5 | 69,2 | 102,6 | 104,5 |
| Date du relevé : | 04-05-96 | 04-05-96 | 04-05-96 | |
| NPR[1] : | 14 (60,8 %) | 11 (78,6 %) | 22 (91,6 %) | 47 (77 %) |
| Recul en cmMin.: | 50 (25)* | 90 (55) | 110 (55) | 100 (50) |
| Max.: | 320 (160) | 340 (170) | 320 (165) | 360 (180) |
| Méd.: | 200 (100) | 120 (60) | 220 (110) | 200 (100) |
| Moy.: | 198,6 (99,3) | 160,3 (81,5) | 226,6 (113,3) | 205,9 (102,9) |
| Date du relevé : | 09-05-97 | 09-05-97 | 09-05-97 | |
| NPR[1]: | 5 (21,7 %) | 10 (71,4 %) | 9 (37,5 %) | 24 (39,3 %) |
| Recul en cmMin.: | 260 (86,7) | 80 (26,7) | 100 (33,3) | 80 (26,7) |
| Max.: | 310 (103,3) | 250 (83,3) | 290 (96,7) | 310 (103,3) |
| Méd.: | 300 (100) | 180 (60) | 235 (78,3) | 235 (78,3) |
| Moy.: | 286 (95,3) | 172,5 (57,5) | 213,9 (71,3) | 211,6 (70,3) |

* Entre parenthèses = taux de recul annuel moyen

TABLEAU III

*Recul latéral de la micro-falaise du schorre supérieur, secteur occidental : 1996-1998 (12 piquets métalliques placés le 29 mai 1996)*

| Relevé de mai 1997 | Relevé du 7 juin 1998 |
|---|---|
| N-11 (91,6 %) | N-8 (66,7 %) |
| Min.: 90 cm | Min.: 140 (70)* |
| Max.: 170 | Max.: 315 (157) |
| Méd.: 120 | Méd.: 190 (95) |
| Moy.: 113,6 | Moy.: 200,6 (100,3) |

* Entre parenthèses : taux de recul annuel moyen

Par ailleurs, la fréquence et l'intensité des tempêtes (vents de plus de 30 km/h pendant deux heures consécutives) explique en grande partie les variations du taux de recul de la micro-falaise au cours de la période interglacielle comme cela a été souligné pour le schorre de Cap-Tourmente.

Entre 40 et 50 % de l'érosion du schorre supérieur survient entre le début novembre et la fin avril. Cette période comprend donc les mois d'hiver, en particulier janvier, février et mars, mois durant lesquels la micro-falaise, gelée et englacée, est en majeure partie soustraite à l'érosion. En novembre et décembre, cependant, le gel de la micro-falaise et la glace en formation ralentissent ou entravent l'action des vagues, de sorte que l'érosion du schorre supérieur est plutôt faible durant cette période. L'essentiel de l'érosion se produit donc au printemps lors du dégel et du déglacement, soit à la fin mars et au début avril. En effet, au départ des glaces, de grands radeaux de schorre (fig. 16) (tapis végétal et minéral de 2 à 6 m de longueur, 1 à 2 m de largeur et 30 à 50 cm d'épaisseur) sont arrachés à la marge externe du schorre supérieur, là où la micro-falaise est élevée et verticale, créant ainsi un replat d'érosion (fig. 17) qui expose la surface de l'unité 2 du substrat du schorre supérieur, unité, rappelons-le, composée de limon et de sable fin stratifiés contenant des tiges et des racines de scirpe (ancien schorre inférieur) dont la consistance est relativement faible. Les radeaux de glace entraînés par la marée affouillent aussi localement cette surface et érodent mécaniquement la micro-falaise. Contrairement à une opinion mal fondée (Ouellet et Baird, 1978)[7], les glaces exercent une rôle érosif non négligeable dans l'érosion des marais intertidaux (Dionne, 1972, 1989a, 1989b).

Après le départ des glaces et le dégel, les sédiments de la micro-falaise perdent leur consistance ; il y a alors de nombreux mini-éboulements, de petits glissements superficiels et parfois des coulées boueuses modestes. Ici et là, le ruissellement joue aussi un rôle dans la dégradation de la partie externe du schorre supérieur. C'est la principale période d'érosion en dehors de la saison dite estivale ou interglacielle. Les débris provenant du démantèlement de la micro-falaise par le froid et les glaces sont rapidement évacués par les vagues et les courants. L'essentiel de l'érosion est donc concentré en avril-mai pour la période dite hivernale.

D'autres agents jouent un rôle secondaire dans l'érosion du schorre supérieur. À SAB, les oies exercent une action non négligeable dans les secteurs occidental et oriental, en détruisant le tapis végétal (fig. 18) et en créant des mini-replats (10-15 cm de hauteur) repris ensuite par les vagues, ce qui expose la surface minérale sous-jacente plus vulnérable. Dans les deux secteurs mentionnés, ce type d'érosion est évalué à environ 5 % de l'érosion annuelle totale du schorre supérieur.

Bien que modeste en comparaison avec d'autres sites, l'érosion anthropique ne peut être ignorée. Certaines pratiques des chasseurs déjà signalées (Dionne, 1985a) accélèrent localement l'érosion du schorre supérieur. L'intervention humaine la plus importante cependant est le creusage de fossés de drainage. Il y en a une quarantaine. Comme mentionné plus haut, ces fossés, qui découpent le schorre supérieur en plusieurs quadrilatères (fig. 6), s'élargissent peu à peu et forment des entonnoirs, ce qui favorise un recul latéral plus rapide du schorre supérieur. L'installation d'un système de drains souterrains règlerait probablement le problème. Par ailleurs, il ne semble pas que le batillage (Ouellet et Baird, 1978) ait une influence sur le recul de la micro-falaise du schorre supérieur à SAB, car le chenal de l'île d'Orléans est fréquenté seulement par des embarcations de faible tonnage

## LES CAUSES DE L'ÉROSION

Si les agents d'érosion du schorre supérieur peuvent être facilement identifiées, les causes du recul de la micro-falaise dans le moyen estuaire sont beaucoup moins évidentes (Dionne, 1986). Parmi les causes potentielles, mentionnons l'élévation du niveau marin, la subsidence des terres, un déficit du bilan sédimentaire, une augmentation du nombre et de la sévérité des tempêtes, une activité accrue des glaces et du froid, la compaction des sédiments du schorre supérieur, le déplacement de l'axe du chenal nord de l'île d'Orléans dans le cas de SAB, et l'activité des oies ainsi que l'anthropisme. Si, dans des proportions variables d'un site à l'autre, ces divers facteurs jouent un rôle dans l'érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, il demeure difficile d'attribuer à l'un ou à l'autre une part prédominante permettant d'expliquer d'emblée la période actuelle dominée par l'érosion.

### MOUVEMENTS DE LA CROÛTE TERRESTRE

Les rares données concernant les mouvements des terres dans l'axe du Saint-Laurent estuarien sont peu concluantes. Généralement basées sur des données marégraphiques, on peut difficilement isoler le facteur tectonique ou isostatique du

7. D'après Ouellet et Baird (1978, p. 319), «... il ne semble pas que l'action de la glace soit responsable pour une part importante de l'érosion ». « La glace accumulée sur la rive, au lieu de causer des dommages importants, fournit une protection additionnelle contre le climat plus sévère des vagues durant la période hivernale ou contre l'attaque des champs de glace à la dérive poussés par le vent ou par les courants contre la berge » (p. 313).

TABLEAU IV

*Taux d'érosion des schorres du Saint-Laurent estuarien*

| Localité | Taux moyen/an (en cm) | Période | Référence |
|---|---|---|---|
| Cap-Tourmente | a)256 | 1981-1983 | Troude, 1986 |
| | b)124 / 190 | | |
| | 176* | 1964-1981 | Troude, 1986 |
| | a)250 | 1981-1983 | Troude et Sérodes, 1985 |
| | b)150 / 200 | | |
| Montmagny | a) 86 | 1984-1986 | Dionne, 1986 |
| | b)112 | | |
| | c)190 / 129 | | |
| Rivière-du-Loup | a)166 | 1983-1985 | |
| | b)376 / 271 | 1983-1986 | Dionne, 1986 |
| | 190 | 1982-1984 | Denis, 1987 |
| Saint-Joseph-de la Rive | a)110* | 1964-1986 | Quilliam et Allard, 1989 |
| | b)120 / 115 | | |
| Anse aux Canards** (île d'Orléans) | a)490 | 1963-1972 | Allard, 1981 |
| | b)270 / 380 | 1972-1978 | |

*Mesures sur photographies aériennes; taux moyen à long terme
**Recul de la marge externe du schorre inférieur

TABLEAU V

*Taux de recul de la micro-falaise haute (> 1 m) du schorre supérieur à Cap-Tourmente, d'après les données de Troude (1986, p. 87)*

| Première année 23/11/81au 23/11/82 | Deuxième année 23/11/82 au 09/11/83 |
|---|---|
| Minimum : 0 cm | Minimum : 230 cm |
| Maximum : 286 | Maximum : 591 |
| Médiane : 138 | Médiane : 348 |
| Moyenne : 142 | Moyenne : 370 |
| **Recul total 23/11/81 au 09/11/83** | **Moyenne annuelle sur 2 ans 23/11/81 au 09/11/83** |
| Minimum : 244 cm | Minimum : 122 cm |
| Maximum : 750 | Maximum : 375 |
| Médiane : 510 | Médiane : 255 |
| Moyenne : 512,6 | Moyenne : 256 |

TABLEAU VI

*Taux de recul de la micro-falaise basse (30-50 cm) du schorre supérieur à Cap-Tourmente, d'après les données de Troude (1986), p. 88*

| Première année 25/11/81au 22/11/82 | Deuxième année 25/11/82 au 09/11/83 |
|---|---|
| Minimum : 2 cm | Minimum : 5 cm |
| Maximum : 573 | Maximum : 505 |
| Médiane : 88 | Médiane : 90 |
| Moyenne : 153,6 | Moyenne : 143,9 |
| **Recul total 25/11/81 au 09/11/83** | **Moyenne annuelle sur 2 ans 25/11/81 au 09/11/83** |
| Minimum : 14 cm | Minimum : 7 cm |
| Maximum : 653 | Maximum : 326,5 |
| Médiane : 153 | Médiane : 76,5 |
| Moyenne : 248,6 | Moyenne : 124,3 |

TABLEAU VII

*Taux de recul de la micro-falaise du schorre dans divers pays*

| | Taux moyen annuel | Référence |
|---|---|---|
| **A. Europe** | | |
| 1. Allemagne : | | Lüders, 1937 |
| – Baie de de Jade (1872-1934) | 2 à 2,5 cm | Ehlers, 1988b |
| – îles de la Frise | 50 cm | Ehlers, 1988a |
| – île de Sylt | 30 cm | Ehlers *et al.,* 1993 |
| 2. Angleterre : | | |
| – Dovey estuary | 3,75 à 7,5 cm | Richards, 1934 |
| – Essex (1953-1965) (Dengie Peninsula) | 10 m | Greensmith et Tucker, 1965 |
| – Essex (1955-1981) (Bridge Creek) | 150 cm | Reed, 1988 |
| – Morecambe Bay | 50 m | Pringle, 1995 |
| 3. Danemark : | | |
| – Kongeå River mouth (1946-1984) | 25 cm | Ehlers, 1988b |
| – Hallig Norderoog (1927-1980) | 250 cm | Ehlers, 1988b |
| 4. France : | | |
| – Baie du Mont Saint-Michel (1952-1957) | 200 m | Guilcher, 1981 |
| – Bretagne (petits estuaires) | 83 cm | Guilcher et Berthois, 1957 |
| 5. Hollande : | | |
| – Estuaire de l'Ems | 190 cm | De Glopper, 1981 |
| – Groingen area | 2 à 40 cm | Bakker *et al.,* 1993 |
| – Oosterschelde | 100 cm (max.) | Van Eerdt, 1985 Schoot et Van Eerdt, 1985 |
| 6. Portugal : | | |
| – Sado estuary (15 sites) (1978-1989) | 1 à 73 cm | Soares et Moreira, 1992 |
| **B. États-Unis** | | |
| 1. Maryland (embouchure de Pewter Creek) | 90 cm | Singewald et Slaughter, 1949 |
| Maryland (1848-1987) | 86 à 137 cm | Wray *et al.*, 1995 |
| – Bloodsmith Is. | 137 cm | |
| – Smith Is. | 104 | |
| – South Is. | 86 cm | |
| 2. Monie Bay | 330 cm | Ward *et al.*, 1988 |
| 3. New Jersey | 79 et 91 cm | Phillips, 1986 |
| Baie de Delaware | 320 cm | Phillips, 1986 |
| (1940-1978) | 51 à 67 cm | Rosen, 1977 |
| 4. Virginie | | |
| – Chesapeake Bay (Nanticoke estuary) | 30 cm | Kearney *et al.*, 1988 |
| – York River | 21 cm | Finkelstein et Hardaway, 1988 |
| **C. Tunisie** | | |
| (7 sites) | | |
| (1983-1987) | 26 à 93 cm | Ouestali, 1993 |

FIGURE 15. Vue générale du schorre supérieur à marée montante, durant la période de morte eau (marée de 4,8 m à Québec ; deux heures avant la pleine mer, l'eau atteint déjà la base de la micro-falaise (17-8-95).

*A general view of the high marsh during rising tide in a period of neap tide (tide 4.8 m at Quebec City); two hours before high tide, the water level reached the base of the microcliff (95-8-17).*

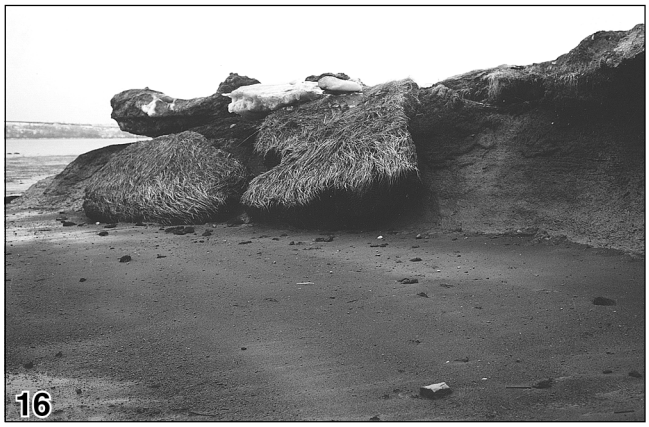


FIGURE 16. Deux grands radeaux de schorre arrachés par les glaces (13-4-95).

*Two large marsh rafts eroded and displaced by ice (95-4-13).*

facteur eustatique. On mesure donc un mouvement relatif du niveau d'eau (Gale, 1970 ; Vanicek et Hamilton, 1972 ; Dunbar et Garland, 1975; Lambert et Vanicek, 1979 ; Carrera et Vanicek, 1988 ; Carrera *et al*., 1990).

À la suite de Walcott (1972), la plupart des auteurs croient que les rives du Saint-Laurent sont encore en voie d'émersion à un taux moyen de l'ordre du millimètre par année (Locat, 1977 ; Vanicek, 1976 ; Champagne *et al*., 1983 ; Sérodes et Dubé, 1983). D'après Vanicek et Hamilton (1972), à Saint-Joachim (localité voisine de SAB), à Baie-Saint-Paul et à La Malbaie, le taux moyen d'émersion des terres serait respectivement de 4,9, 7,7 et 9,5 cm par siècle, soit moins d'un millimètre par année partout sur la côte de Charlevoix. Bref, il est difficile dans l'état actuel des connaissances de préciser si les terres sont vraiment stables, en voie d'émersion ou en subsidence ou s'il existe des différences entre les deux rives et les divers tronçons de l'estuaire.

FIGURE 17. Replat d'érosion créé par les glaces à la marge externe du schorre supérieur (14-5-95).

*Erosion surface made by shore ice removing large pieces of the vegetation carpet of the high marsh (95-5-14).*

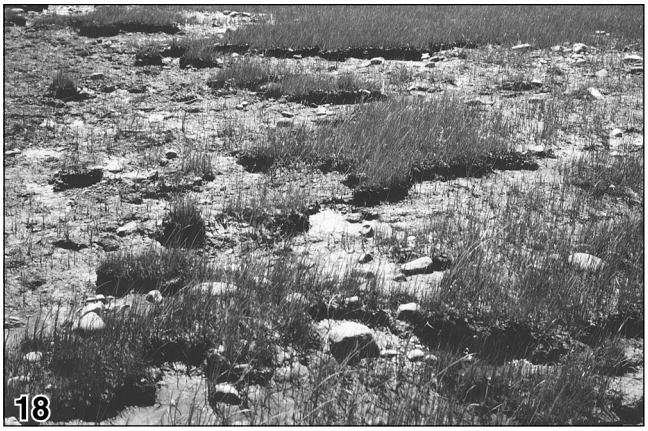


FIGURE 18. Érosion par les oies du couvert végétal du schorre supérieur à SAB (7-6-98).

*Erosion by geese of the vegetation cover of the high marsh at SAB (98-6-7).*

## ÉLÉVATION DU NIVEAU OCÉANIQUE

L'élévation récente du niveau des océans fait l'unanimité. De nombreux travaux y ont été consacrés depuis deux décennies. Le taux annuel varie cependant d'un auteur à l'autre allant de 0,4 à 3 mm/an, mais la plupart des auteurs favorisent un taux de l'ordre de 1 à 1,5 mm par an (Gornitz *et al*., 1982 ; Emery et Aubrey, 1991, tabl. 8, p. 165 ; Mörner, 1996).

Pour le Saint-Laurent estuarien et le golfe par exemple (tabl. VIII), Emery et Aubrey (1991, p. 203) préconisent une tendance à la submersion à Pointe-au-Père, ainsi qu'aux stations marégraphiques de Saint-François (île d'Orléans) et Québec. Malheureusement, les données des niveaux d'eau aux deux dernières stations reflètent des variations du débit du Saint-Laurent et ne traduisent pas forcément une élévation du niveau océanique. De son côté, Pirazzoli (1986) a constaté une tendance à l'émersion des terres à Pointe-au-Père et à Québec à un taux respectif de 0,2 et 0,9 mm par année, taux semblable à ceux calculés antérieurement par Dohler et Ku (1970) à partir des mêmes données qu'Emery et Aubrey (1991). Selon Drapeau (1992, p. 238), l'abaissement du niveau marin est présentement très faible dans l'estuaire du Saint-Laurent, de sorte qu'une « variation aussi petite ne peut provoquer une érosion littorale de l'importance de celle qui a été observée à plusieurs endroits au cours des dernières décennies ».

Dans une étude récente sur les niveaux d'eau de l'estuaire du Saint-Laurent, Anctil et Troude (1992) en arrivent à la conclusion qu'à Pointe-au-Père (la seule station marégraphique fiable), on constate une stabilité relative des niveaux d'eau (- 0,3 ± 0,5 mm). Dans le secteur amont du moyen estuaire (Montmagny, Cap-Tourmente et Saint-François, île d'Orléans), les niveaux d'eau entre 1970 et 1988 ont été influencés par les variations du débit du Saint-Laurent. Ils en concluent qu'à Pointe-au-Père, la remontée du niveau des océans de l'ordre de 1 à 2 mm par an est en partie compensée par l'émersion des terres, alors qu'ailleurs, en amont, les niveaux d'eau plus élevés enregistrés au cours des dernières décennies traduisent essentiellement les fluctuations du débit d'eau douce du fleuve.

D'après Anctil et Troude (1992, p. 258), les taux d'érosion de la micro-falaise du schorre supérieur à Cap-Tourmente sont attribuables « au renforcement des niveaux moyens associés aux crues du Saint-Laurent ». Ils ajoutent que « dans la mesure où les débits d'eau douce commencent à décroître (une tendance amorcée depuis 1988 seulement), on peut s'attendre à un ralentissement des mécanismes érosifs observés durant la décennie précédente ». Malheureusement, les données récentes à SAB et à Montmagny indiquent plutôt une augmentation qu'une diminution du taux de recul de la micro-falaise du schorre supérieur. À Montmagny, par exemple, le taux moyen de recul de la micro-falaise est passé de 129,3 cm (1984-1986) à 164,6 cm (1996-1998).

Si les données disponibles ne permettent pas de préciser la tendance du niveau marin relatif dans l'estuaire du Saint-Laurent, il existe cependant un indice géomorphologique significatif. En effet, à plusieurs endroits (Rivière-du-Loup, La Pocatière, Les Aulnaies, Montmagny, Saint-Joseph-de-la-Rive et baie des Ilets à Jérémie (Haute Côte Nord), on observe, à la surface du schorre supérieur délimité par une micro-falaise, des cordons de sable et gravier transgressifs. À Montmagny, par exemple, dans le secteur à l'ouest de la rivière du Sud actuellement en voie d'érosion à un taux moyen annuel supérieur à 200 cm, certains cordons de plusieurs décimètres d'épaisseur sont situés entre 15 et 20 m du rebord externe du schorre supérieur. L'édification de ces cordons, qu'ils soient liés ou non à des tempêtes, impliquent un niveau d'eau plus élevé qu'autrefois.

## DÉFICIT DU BILAN SÉDIMENTAIRE

On connaît encore mal le bilan sédimentaire du moyen estuaire (Dionne, 1984, 2000). Certaines études (Sérodes et Troude, 1984 ; Troude et Sérodes, 1985, 1990) indiquent un bilan sédimentaire nul ou légèrement positif pour les battures du secteur amont du moyen estuaire du Saint-Laurent, notamment dans le secteur du bouchon vaseux. Cette estimation est,

TABLEAU VIII

*Tendance du changement du niveau marin relatif d'après les données marégraphiques : Estuaire et golfe du Sait-Laurent*

| Localité | Période | Type de fluctuation | Intervalle de confiance (%) |
|---|---|---|---|
| A. Emery et Aubrey (1991) | | | |
| Ste-Anne-des-Monts | 1970-1980 | Émersion | 0,96 |
| Pointe-au-Père | 1925-1980 | Submersion | 1,00 |
| Rivière-du-Loup | 1970-1980 | Émersion | 0,85 |
| St-François (île d'Orléans) | 1965-1980 | Submersion | 0,80 |
| Québec | 1965-1980 | Submersion | 0,79 |
| Tadoussac | 1968-1980 | Émersion | 0.72 |
| Harrington Harbour | 1940-1940 | Émersion | 1,00 |
| B. Pirazzoli (1986) | | | |
| Harrington Harbour | 1940-1979 | Stabilité | - |
| Pointe-au-Père | 1897-1977 | Émersion | - |
| Québec | 1894-1949 | Émersion | - |
| C. Dohler & Ku (1970) | | | |
| Harrington Harbour | 1939-1970 | Submersion | > 90 % |
| Pointe-au-Père | 1909-1970 | Émersion | < 90 % |
| Québec | 1937-1970 | Émersion | > 90 % |

toutefois, fondée sur un volume modeste d'entrées (*input*) et de sorties (*output*) dans la zone de turbidité, mais aussi sur une inconnue de grande importance, soit le volume de sédiment en suspension (vase) évacué annuellement par les glaces durant l'hiver et lors du déglacement.

Les diverses estimations sur les entrées de suspensions à Québec varient beaucoup allant de 3,5 à 25 millions de tonnes par année (Dionne, 1984, 2000). Les estimations les plus réalistes (Frenette *et al*., 1989) indiquent un tonnage annuel moyen de 6 millions de tonnes avec des variations allant de 4 à 12 millions de tonnes. Par contre, les sorties (*output*), en période interglacielle, seraient seulement de l'ordre d'un million de tonnes par année (d'Anglejan *et al*., 1973). Ainsi, le bilan sédimentaire dans le secteur du bouchon vaseux du moyen estuaire devrait normalement être largement positif.

Or, on a constaté que les battures du moyen estuaire comme celles de l'estuaire maritime sont plutôt en voie d'érosion ou encore en équilibre précaire. On a observé aussi que les schorres sont dans l'ensemble en voie d'érosion au moins depuis le début des années 1980. Dans l'hypothèse d'un bilan sédimentaire positif, les vasières et les marais intertidaux devraient être en expansion. La situation contraire prévalant, on doit en conclure que le bilan sédimentaire du moyen estuaire est déficitaire de nos jours en comparaison avec les périodes antérieures qui furent favorables à l'édification et à l'expansion latérale des schorres.

Par ailleurs, d'après d'Anglejan et Brisebois (1978), il y a peu de sites d'accumulation de vase sur le fond dans le secteur amont du moyen estuaire alors que la turbidité ne semble pas augmenter d'année en année (d'Anglejan *et al.*, 1973 ; Silverberg et Sundby, 1979 ; Kranck, 1979). Alors où va la vase ? Nous avons montré (Dionne, 1981, 1984, 2000) qu'elle était en grande partie évacuée par les glaces. Cette activité permet de comprendre et d'expliquer le bilan sédimentaire du moyen estuaire, d'où les apports modestes annuels stables sur les battures. Le bilan sédimentaire serait donc en partie responsable de l'érosion récente des marais intertidaux du Saint-Laurent ainsi que de l'érosion des rives (Dionne, 1999).

## LES FACTEURS CLIMATIQUES

Les vagues et les glaces étant les deux agents principaux de l'érosion des schorres du Saint-Laurent, il importe d'examiner les données climatiques pour voir s'il y a eu des changements importants au cours des dernières décennies dans le nombre de tempêtes et leur gravité ou encore une activité accrue des glaces. Les données anémométriques disponibles (Vigeant, 1984 ; Ouellet et Dupuis, 1988) ne permettent malheureusement pas de savoir si le nombre de tempêtes et leur intensité ont augmenté au cours des deux dernières décennies. De plus, un examen sommaire de telles données pour le moyen estuaire n'a pas permis de constater de modifications susceptibles d'expliquer l'érosion récente des schorres du moyen estuaire.

Le schorre supérieur de Sainte-Anne-de-Beaupré étant relativement protégé des vents dominants (Troude *et al*., 1991) ne devrait pas normalement connaître une augmentation du nombre de tempêtes et de leur intensité. Une étude sommaire pour le golfe du Saint-Laurent (Valton, 1981) couvrant la décennie de 1960 n'a pas non plus permis de mettre en évidence une détérioration importante des conditions climatiques (vents-vagues) dans ce secteur.

Par ailleurs, l'activité glacielle et du froid (gel-dégel) ne semble pas avoir varié de façon importante au cours des deux dernières décennies. En somme, les changements climatiques régionaux ne seraient pas la cause principale de la

reprise d'érosion touchant les marais intertidaux du Saint-Laurent estuarien.

## AUTRES FACTEURS POTENTIELS

Parmi les autres facteurs potentiels responsables dans certains sites européens d'un recul spectaculaire du schorre supérieur, on mentionne le déplacement de chenaux de marée (Pringle, 1995). Ce facteur ne s'applique pas au Saint-Laurent estuarien, sinon très peu à l'archipel de Montmagny. D'après un examen des cartes bathymétriques anciennes et récentes, l'axe du chenal de l'île d'Orléans, en face de SAB, ne semble pas avoir subi de modifications importantes. La largeur de la batture est demeurée la même. Il est vraisemblable, cependant, que la surface de la batture se soit abaissée par érosion verticale, ce qui a eu pour conséquence d'augmenter l'épaisseur de la tranche d'eau à marée haute et ainsi, de favoriser le pouvoir érosif des vagues au droit du schorre supérieur.

La compaction des sédiments du schorre supérieur est un autre facteur invoqué par plusieurs auteurs pour expliquer des changements de niveau. Ce facteur joue un rôle non négligeable dans les schorres organiques de la baie de Fundy et de la côte est des États-Unis, par exemple ; mais dans ceux presque essentiellement minéraux du Saint-Laurent estuarien, le tassement est faible. Dans le schorre supérieur de SAB, l'épaisseur du matériel meuble excède rarement 200 cm ; de plus, sur environ la moitié du secteur étudié, le schorre supérieur repose sur une plate-forme rocheuse. La compaction apparaît donc comme un facteur négligeable à cet endroit et dans la plupart des schorres du Saint-Laurent composés à plus de 90 % de matériel minéral.

Les dragages ont parfois été pointés du doigt. Si le surcreusement des chenaux de navigation augmente le potentiel de sédimentation, il pourrait en résulter des effets négatifs sur les battures. À notre connaissance, il n'y a pas eu de dragages dans le secteur de SAB ; ceux qui sont faits régulièrement concernent des secteurs situés en aval et au sud de l'île d'Orléans. Il est possible, cependant, que ce facteur joue un rôle dans l'érosion de la batture et du schorre à Cap-Tourmente, site localisé plus près du chenal de navigation. On constate la même situation pour le schorre de Rivière-du-Loup situé près du port (Troude et Ouellet, 1987).

L'activité des oies et l'anthropisme constituent deux facteurs à considérer dans le cas des marais à scirpe du Saint-Laurent ; on ne saurait cependant leur accorder une importance démesurée. À SAB, l'érosion due à l'anthropisme est liée principalement aux nombreux fossés de drainage découpant le schorre supérieur et constituant des lieux facilitant l'érosion par les vagues et les courants. Contribuent aussi à l'érosion, mais dans une faible mesure, les cavités diverses creusées par les chasseurs (caches, mares à canards, prélèvement de mottes de terre pour fabriquer des appelants, etc.) (Dionne, 1985a).

À la différence des grands marais à scirpe de Cap-Tourmente, de l'île aux Grues et de Montmagny (Dionne, 1985c), à SAB les oies exercent une action érosive importante surtout au droit du schorre supérieur. La dégradation de la surface par les oies, en particulier au printemps, facilite l'érosion subséquente par les vagues et compte pour environ 5 % de l'érosion totale.

En conclusion, compte tenu que l'essentiel de l'érosion du schorre supérieur à SAB est réalisé par les vagues et les courants d'une part, et par les glaces et le froid (gel-dégel) d'autre pat, il semble que les hauts niveaux constatés au cours des dernières décennies, qu'ils soient liés au débit du fleuve ou à la remontée du niveau eustatique des océans ou encore à la subsidence des terres, et à un bilan sédimentaire déficient, sont, dans une large mesure, responsables de l'érosion récente des schorres supérieurs du moyen estuaire du Saint-Laurent, en particulier de celui de Sainte-Anne-de-Beaupré.

D'après Drapeau (1992, p. 241), l'érosion des schorres du Saint-Laurent serait attribuable à la modification du profil d'équilibre, car lorsque le « schorre progresse au-dessus du profil d'équilibre, il est soumis d'une façon plus intense au stress hydrodynamique ». L'érosion survient alors en réponse au stress. Devenu concave, le profil de la batture est alors propice à l'érosion là où prévalent les conditions hydrodynamiques comme à Rivière-du-Loup. Le recul rapide du schorre supérieur paraît donc inévitable et n'a rien de surprenant.

En bref, l'érosion surviendrait quand le schorre supérieur a atteint une certaine maturité, c'est-à-dire une épaisseur et une largeur données par rapport aux caractéristiques du site. Ceci laisse entendre une évolution de type cyclique. Est-ce à dire que les schorres du moyen estuaire ont le même âge, puisqu'ils sont tous en voie d'érosion ? Les données chronologiques disponibles (âges au radiocarbone) pour certains schorres (Rivière-du-Loup, Montmagny et Sainte-Anne-de-Beaupré) indiquent, en effet, qu'ils ont été édifiés au cours des derniers siècles et que le faciès correspondant au schorre supérieur a moins de 100 ans (Dionne, 1993). Il demeure difficile, cependant, de s'avancer davantage pour l'instant.

Par ailleurs, certains auteurs (Guilcher, 1981) ont évoqué l'existence d'une évolution cyclique des schorres avec alternance de périodes favorables à la sédimentation et d'autres à l'érosion. Nos connaissances sur les marais intertidaux du Saint-Laurent estuarien, vont dans ce sens. L'érosion récente et actuelle des schorres correspond probablement à une phase normale de leur évolution à long terme. La question est de savoir combien de temps prévaudra l'érosion actuelle et quel en sera le résultat. Certains schorres pourraient bien disparaître complètement au cours des deux prochaines décennies. Cette disparition sera-t-elle alors suivie par une période de reconstitution ? Dans le cas d'une évolution cyclique ponctuée de périodes d'accrétion et d'érosion, il devient alors compliqué de retracer l'odyssée des marais intertidaux, en particulier les plus petits.

De quoi dépend l'érosion cyclique des schorres ? De fluctuations d'ordre astronomique, climatique ou autres ? L'existence de cycles de nature astronomique de l'ordre de la centaine d'années (Fairbridge, 1963 ; Fairbridge et Hilaire-Marcel, 1977 ; Stephenson et Wolfendale, 1988) a déjà été identifiée notamment dans les Grands Lacs nord américains

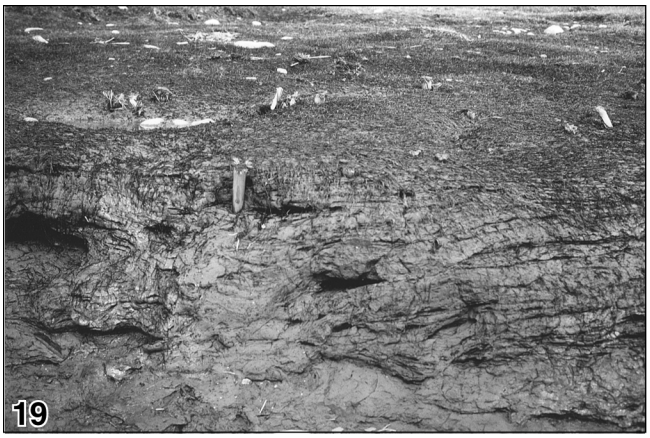


FIGURE 19. Piquets de bois reliques d'une ancienne pêche à fascines enterrés dans les sédiments du schorre supérieur à SAB (19-5-93).

*Remains of vertical poles (wood sticks) used for fishing traps buried into the muddy sediment of the high marsh substrate at SAB (93-5-19).*

(Cohn et Robinson, 1975, 1976), alors qu'un cycle d'environ 25 ans caractérisant le lac Ontario a été mis en évidence à la station des Trois-Rivières, pour la période allant de 1925 à 1976 (Chanut *et al*., 1988). Selon ces derniers auteurs, le contrôle du débit du Saint-Laurent n'influence pas la variation à long terme mais les variations à cours terme.

## SOMMAIRE ET CONCLUSION

La plupart des milieux littoraux dans le monde sont présentement en voie d'érosion (Bird, 1985). Ceux du Saint-Laurent estuarien ne font pas exception (Dionne, 1999). Dans le moyen estuaire tous les marais intertidaux sont touchés à des degrés divers. Certains parmi les plus importants (Rivière-du-Loup, Montmagny, Cap-Tourmente) sont déjà fort dégradés et ont reculé de 20 à 30 m au cours des deux dernières décennies. Celui de Sainte-Anne-de-Beaupré recule présentement à un taux moyen annuel supérieur à 100 cm. Compte tenu de sa faible étendue (largeur), il pourrait disparaître au cours des prochaines décennies si l'érosion persiste.

Les agents d'érosion en cause sont principalement les vagues et les courants de marée d'une part et les glaces et le froid (gel-dégel) d'autre part. Leur action compte, en effet, pour environ 90 % du recul de la micro-falaise du schorre supérieur. Ce dernier a pourtant été édifié au cours des derniers siècles. Au début de la colonisation de la côte de Beaupré (XVII$^{e}$ siècle), le schorre supérieur actuel n'existait pas. Des gravures[8] montrent, en effet, l'existence de pêches à fascines à son emplacement. On peut d'ailleurs observer, ici et là, enfouis dans les sédiments du substrat du schorre supérieur les piquets des anciennes pêches à fascines (fig. 19). Deux de ces piquets datés au $^{14}$C ont donné des âges inférieurs à 100 ans BP[9].

Le substrat du schorre supérieur actuel comprend trois unités ou faciès sédimentologiques. En surface, une couche d'une cinquantaine de centimètres, composée de débris de plantes d'espèces variées et infiltrée de limon (vase), correspond à un faciès de schorre supérieur. Malgré l'érosion actuelle, cette unité continue de s'accroître verticalement car le schorre supérieur est régulièrement submergé lors des grandes marées par les eaux turbides du bouchon vaseux du secteur amont du moyen estuaire. Bien que cette unité offre une bonne résistance à l'érosion des vagues, une fois dégradée par l'action des glaces et des oies, elle devient ensuite vulnérable car, à marée haute, la partie externe et la micro-falaise du schorre supérieur sont ennoyées durant une période journalière d'une dizaine d'heures.

L'unité principale formant le substrat du schorre supérieur se trouve en dessous du tapis végétal et mesure entre 60 et 115 cm d'épaisseur. Il s'agit de sable fin limoneux et de limon (silt) stratifiés en lits minces (quelques millimètres à un centimètre) contenant des racines et des tiges de scirpes correspondant à un faciès de schorre inférieur. Sa consistance étant plutôt faible, en particulier lorsque humide, l'érosion des vagues est manifeste partout.

À la base de la micro-falaise du schorre supérieur, on observe, à maints endroits où la falaise est haute (> 80 cm), une troisième unité limono-sableuse relativement compacte et dépourvue de racines et de tiges de plantes correspondant à un faciès de slikke. Dans la moitié est du secteur étudié, cette unité repose directement sur la plate-forme rocheuse relique.

Compte tenu de la position altitudinale des unités 2 et 3 (faciès de schorre inférieur et de slikke) par rapport à la position actuelle de ces unités sur la batture moderne, on peut en déduire une émersion relative des terres de un à deux mètres au cours des derniers siècles.

Les causes du recul de la micro-falaise demeurent difficiles à préciser. Divers facteurs jouent un rôle d'importance variée. Le bilan sédimentaire et probablement aussi la tendance à la hausse du niveau marin relatif semblent être les deux principaux facteurs en cause. Est également évoquée l'existence possible de cycles d'érosion et d'accrétion caractérisant l'évolution à long terme des marais intertidaux. Dans ce cas, l'érosion récente des schorres du Saint-Laurent estuarien serait un phénomène normal difficile à contrer.

Une meilleure connaissance de ces environnements littoraux fragiles mais très importants au point de vue écologique permettrait sans doute de comprendre leur évolution et de proposer une politique de gestion pertinente. Malheureusement, peu de chercheurs se sont intéressés jusqu'à ce jour aux aspects morpho-sédimentologiques des marais intertidaux, en comparaison des aspects écologiques (faune et flore).

L'étendue des marais intertidaux du Saint-Laurent estuarien étant très faible en comparaison de plusieurs régions

8. Une aquarelle de Thomas Davies exécutée en 1787 (Galerie nationale du Canada, Ottawa), exposée au centre d'art de Château-Richer, montre, en effet, des pêches à fascines le long de la Côte de Beaupré.

9. Dates au $^{14}$C obtenues sur des piquets verticaux de pêches à fascines exposés par érosion du schorre supérieur (UL-1138 : 60 ± 90 BP ; Beta-58207 : 70 ± 50 BP).

dans le monde (Dryade, 1980) et ces milieux étant précieux pour certaines espèces (oies, canards) (Gauthier *et al.*, 1980), on ne peut les laisser se dégrader et disparaître sous nos yeux sans réagir. Qui donc assumera cette responsabilité ? Les gardiens du patrimoine national ne peuvent demeurer plus longtemps indifférents à la perte des terres humides. À l'instar de plusieurs régions dans le monde, les marais intertidaux du Saint-Laurent sont en péril. Il faut s'en occuper pendant qu'il en est encore temps.

## REMERCIEMENTS

La présente contribution fait partie d'un projet de recherche sur l'évolution des rives du Saint-Laurent subventionné par le Conseil national de recherche du Canada (programmes du CRSNG). Quelques étudiants du Département de géographie et du Centre d'Études nordiques m'ont apporté leur concours lors de la pose des piquets repères ou lors des relevés (Alain Fournier, Luc Rousseau, Bruno Bussières) ; leur aide a été fort appréciée. Les figures ont été réalisées au Laboratoire de cartographie du Département de géographie par M^me^ Andrée Lavoie. Les suggestions faites par les lecteurs critiques (Georges Drapeau et Philip Hill) et le rédacteur associé (Bernard Hétu) ont permis d'améliorer la qualité du manuscrit initialement soumis.

## RÉFÉRENCES

Allard, M., 1981. L'anse aux Canards, île d'Orléans, Québec : évolution holocène et dynamique actuelle. Géographie physique et Quaternaire, 35 : 133-154.

Allen, J. R. L. et Pye, K., 1992. Saltmarshes. Morphodynamics, conservation and engineering significance. Cambridge University Press, Cambridge, 184 p.

Anctil, F. et Troude, J.-P., 1992. Étude de la remontée relative des niveaux d'eau de l'estuaire du Saint-Laurent. Canadian Journal of Civil Engineering, 19 : 252-259.

d'Anglejan, B. et Brisebois, M., 1978. Recent sediments of the St. Lawrence middle estuary. Journal of Sedimentary Petrology, 48 : 951-964.

d'Anglejan, B., Smith, E. W. et Brisebois, M., 1973. Distribution, transport and composition of suspended matter in the St. Lawrence estuary. Canadian Journal of Earth Sciences, 10 : 1380-1396.

Argus, 1996. Restauration naturelle des rives du Saint-Laurent (tronçon 4 : de Saint-Antoine-de-Tilly à Saint-Vallier (rive sud), de Neuville à Saint-Joachim - Cap Tourmente (rive nord). Rapport avec cartes par les Consultants en Environnement ARGUS (Québec) dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent - Vision 2000, 26 p. et cartes en annexe.

Bakker, J. B., Leewu, D., Dijkema, K. S., Leendertse, P. C., Prins, H. H. T. et Rozema, J., 1993. Salt marshes along the coast of the Netherlands. Hydrobiologia, 265 : 73-95.

Bird, E. C. F., 1985. Coastline changes. A global review. John Wiley, New York, 219 p.

Bouchard, M.-C., 1999. Mesures de l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, Mémoire de Bacc., Département de géographie, Université Laval, 47 p.

Canada, 1998. Tables des marées et courants du Canada. Volume 3 : Fleuve Saint-Laurent et rivière Saguenay. Pêches et Océans Canada, Ottawa, 36 p.

Carrera, G. et Vanicek, P., 1988. A comparison of present sea level linear trends from tide gauge data and radiocarbon curves in eastern Canada. Paleo, 68 : 128-134.

Carrera, G., Vanicek, P. et Craymer, M. R., 1990. The compilation of a map of recent vertical crustal movements in Canada. Geodetic Survey of Canada (Ottawa), Final Report.

Champagne, P., Denis, R. et Lebel, C., 1983. Établissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent. Québec, Pêches et Environnement Canada, Direction de la recherche sur les Pêches, Rapport des sciences halieutiques et aquatiques n^o^ 1711, 67 p.

Chanut, J. P., D'Astous, D. et El-Sabh, M. I., 1988. Modelling the natural and anthropogenic variations of the St. Lawrence water level, p. 377-394. *In* M. I. El-Sabh et T. S. Murty, édit., Natural and man-made hazards, Reidel, Dordrecht.

Chapman, V. J. édit., 1977. West coastal ecosystems. Elsevier, Amsterdam - New York, 428 p.

Cohn, B. P. et Robinson, J. E., 1975. Cyclic fluctuations of water level in Lake Ontario. Comput. and Geosciences, 1 : 105-108.

——— 1976. A forecast model for Great Lakes water levels. Journal of Geology, 84 455-465.

De Glopper, R. J., 1981. De Snelheid van de opslibbing en van de terugschrijdende erosie op de Kwelders langs de Noord-kust van Friesland en Groningen, p. 43-51, *In* 50 jaar onderzoek, Flevobericht 163, Rijksdienst voor de Ijsselmeerpolders, Lelystad.

Denis, R., 1987. Milieux humides en péril. Geos, 16 (1) : 19-23.

Dionne, J.-C., 1972. Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier de l'estuaire du Saint-Laurent. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 13 : 131-162.

——— 1980. Le glaciel de la batture du cap Tourmente. Annales de l'ACFAS, 47 : 116.

——— 1981. Données préliminaires sur la charge sédimentaire du couvert de glace dans la baie de Montmagny. Géographie physique et Quaternaire, 35 : 277-282.

——— 1984. An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montmagny, middle St. Lawrence estuary. Marine Geology, 57 : 149-166.

——— 1985a. L'érosion anthropique des marais intertidaux du Saint-Laurent, p. 547-568. *In* D. L. Forbes, édit., Comptes rendus Conférence canadienne du Littoral (St. John's, Terre-Neuve), Conseil national de recherche du Canada (Ottawa), sous-comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorale.

——— 1985b. Formes, figures et faciès sédimentaires glaciels des estrans vaseux des régions froides. Paleo, 51 : 415-451.

——— 1985c. Tidal marsh erosion by geese, St. Lawrence estuary, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 39 : 99-105.

——— 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 40 : 307-323.

——— 1988. Characteristics features of modern tidal flats in cold regions, p. 301-332. *In* P. L. de Boer, A. van Gelder et S. D. Nio, édit., Tide-influenced sedimentary environments and facies. Reidel, Dordrecht.

——— 1989a. An estimate of shore ice action in a Spartina tidal marsh, St. Lawrence estuary, Québec, Canada. Journal of Coastal Research, 3 : 281-293.

——— 1989b. The role of ice and frost in tidal marsh development. A review with particular reference to Québec, Canada. Essener Geografische Arbeitein, 28 : 171-210.

——— 1993. Long-term rates of vertical accretion and modern erosion of tidal marshes of a so-called emerging shoreline, St. Lawrence estuary, Québec. Symposium on Sediment dynamics, deposition and erosion in temperate salt marshes, International Geographical Union, Commission on Coastal Systems (Cocodrie, Louisiana), Abstracts, p. 8 ; Manuscrit 17 p. + 12 p. de tableaux.

——— 1998. Sedimentary structures made by shore ice in muddy tidal-flat deposits, St. Lawrence estuary, Québec. Sedimentary Geology, 116 : 261-274.

——— 1999. L'érosion des rives du Saint-Laurent : vue d'ensemble et état de la question. Acte du Colloque régional sur l'érosion des berges, Comité ZIP de la Rive Nord de l'estuaire, Baie-Comeau, p. 2-19.

——— 2000. Sediment content of the ice-cover in muddy tidal areas of the turbidity zone of the St. Lawrence estuary and the problem of the sediment

budget, chapitre 9, *In* T. Healy, édit., Muddy coasts 2000. Elsevier Oceanographic Series (in press).

Dionne, J.-C. et Bouchard, M.-C., 2000. Nouvelles données sur l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, moyen estuaire du Saint-Laurent. Géographie physique et Quaternaire, vol. 54.

Dohler, G. C. et Ku, L. F., 1970. Presentation and assessment of tides and water level records for geophysical investigations. Canadian Journal of Earth Sciences, 7 : 607-625.

Drapeau, G., 1992. Dynamique sédimentaire des littoraux de l'estuaire du Saint-Laurent. Géographie physique et Quaternaire, 46 : 233-242.

Dryade, 1980. Habitats propices aux oiseaux migrateurs. Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada (Québec), par le Groupe Dryade, 66 p.

——— 1982. Analyse de l'évolution spatiale des marécages intertidaux de l'estuaire moyen du Saint-Laurent 1960-1980. Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada (Québec), par le Groupe Dryade, 37 p.

Dunbar, W. S. et Garland, G. D., 1975. Crustal loads and vertical movements near Lake St. Jean, Québec. Canadian Journal of Earth Sciences, 12 : 711-720.

Ehlers, J., 1988a. Morphologische Veränderungen auf der Wattseite der Barriere-Inseln des Wattenmeeres. Die Küste, 47 : 3-30.

——— 1988b. The morphodynamics of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam, 397 p.

Ehlers, J., Nagorny, K., Schmidt, P., Stieve, B. et Zietlow, K., 1993. Storm surge deposits in North Sea salt marshes dated by $^{137}$Cs determination. Journal of Coastal Research, 9 : 698-701.

Emery, K. O. et Aubrey, D. G., 1991. Sea levels, land levels, and tide gauges. Springer-Verlag, New York, 237 p.

Fairbridge, R. W., 1963. Mean sea level related to solar radiation during the last 20 000 years, p. 229-242. *In* Changes of Climate. Proceedings of the Rome Symposium, UNESCO, Paris.

Fairbridge, R. W. et Hillaire-Marcel, C., 1977. An 8 000 yr palaeoclimatic record of the "double-hale" 45 yr solar cycle. Nature, 268 : 413-416.

Finkelstein, K. et Hardaway, C. S., 1988. Late Holocene sedimentation and erosion of estuarine fringing marshes, York River, Virginia. Journal of Coastal Research, 4 : 447-456.

Frenette, M., Barbeau, C. et Verrette, J.-L., 1989. Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent. Rapport de la firme d'experts-conseils Hydrotech Inc. (Québec), 185 p. + annexes.

Gale, L. A., 1970. Geodetic observations for detection of vertical movements. Canadian Journal of Earth Sciences, 7 : 602-606.

Gauthier, J., Lehoux, D. et Rosa, J., 1980. Les marécages intertidaux dans l'estuaire du Saint-Laurent. Service canadien de la faune, Environnement Canada (Québec), 90 p.

Gornitz, V., Lebedeff, S. et Hansen, J., 1982. Global sea level trends in the past century. Science, 215 : 1611-1614.

Greensmith, J. T. et Tucker, E. V., 1965. Saltmarsh erosion in Essex. Nature, 206 : 606-607.

Guilcher, A., 1981. Shoreline changes in coastal salt marsches and mangrove swamps (mangal) within the past century, p. 31-53. *In* E.C.F. Bird et K. Koike, édit., Coastal dynamics and scientific sites. Department of Geography, Komazawa University (Japan), International Geographical Union, Coastal Environment Commission.

Guilcher, A. et Berthois, L., 1957. Cinq années d'observations sédimentologiques dans quatre estuaires-témoins de l'ouest de la Bretagne. Revue de Géomorphologie dynamique, 8 : p. 67-86.

Kearney, M. S., Grace, R. E. et Stevenson, J. C., 1988. Marsh loss in Nanticoke estuary, Chesapeake Bay. Geographical Review, 78 : 205-220.

Kranck, K., 1979. Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence estuary. Naturaliste canadien, 106 : 163-173.

Lacoursière, E. et Grandtner, M., 1971. Contribution à l'étude écologique de la végétation riparienne de l'île d'Orléans. Naturaliste canadien, 98 : 443-459.

Lambert, A. et Vanicek, P., 1979. Contemporary crustal movements in Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 16 : 647-668.

Le Rhun, J., Levasseur, J., Guenegou, M. C. et Michel, I., 1989. Processus d'évolution du schorre à l'ouest du Mont Saint-Michel. Bulletin de recherche, Centre de Géomorphologie de Caen, 36 : 85-88.

Locat, J., 1977. L'émersion des terres dans la région de Baie-des-Sables/ Trois-Pistoles, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 31 : 297-306.

Lüders, K., 1937. Die Zerstörung der Oberahneschen Felder im Jadebusen. Abhandlungen heraugegeben vom Naturwis-senschaftlichen Verein zu Bremen, 30 : 5-20.

Mörner, N.-A., 1996. Sea level variability. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 102 : 223-232.

Ouellet, Y. et Baird, W., 1978. L'érosion des rives du Saint-Laurent. Canadian Journal of Civil Engineering, 5 : 311-323.

Ouellet, Y. et Dupuis, P., 1988. Choice of water level elevation for the design of coastal structures, p. 395-410. *In* M.I. El-Sabh et T.S. Murty, édit., Natural and man-made hazards. Reidel, Dordrecht.

Ouestali, A., 1993. Les côtes de la Tunisie. Géomorphologie et environnement et aptitude à l'aménagement. Publication de la Faculté des Sciences humaines et sociales, Université de Tunis 1, 387 p.

Paskoff, R., 1994. Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution. Masson, Paris, 256 p.

Phillips, J. D., 1986. Coastal submergence and marsh fringe erosion. Journal of Coastal Research, 2 : 427-436.

——— 1989. Erosion and platform irregularities of an estuarine shoreline. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 73 : 59-71.

Pirazzoli, P. A., 1986. Secular trend of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. Journal of Coastal Research, Special Issue 1 : 1-26.

Pringle, A. W., 1995. Erosion of a cyclic saltmarsh in Morecambe Bay, north-west England. Earth Surface Processes and Landforms, 20 : 387-405.

Quilliam, L., 1987. Évolution récente et dynamique écologique actuelle du marais littoral à Saint-Joseph-de-la-Rive, Charlevoix. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université Laval, 142 p.

Quilliam, L. et Allard, M., 1989. Évolution géomorphologique du glissement de terrain et du marais littoral de Saint-Joseph-de-la-Rive, Charlevoix, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 43 : 367-376.

Reed, D. J., 1988. Sediment dynamics and deposition in a retreating coastal salt marsh. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 26 : 67-79.

Richards, F. J., 1934. The salt marshes of the Dovey estuary. IV. The rates of vertical accretion, horizontal extension and scarp erosion. Annals of Botany, 48 : 225-259.

Rosen, P., 1977. Increasing shoreline erosion rates with decreasing tidal range in the Virginia Chesapeake Bay. Chesapeake Science, 18 : 383-386.

Schoot, P. M. et van Eerdt, M. M., 1985. Toekomstige ontwikkeling van de Schorgebieden in de Oosterschelde (Future developments in salt marshes in the Eastern Scheldt). Nota DDMI 85.23, R.W.S. Middleburg.

Sérodes, J.-B. et Dubé, M., 1983. Dynamique sédimentaire d'un estran à Spartines (Kamouraska, Québec). Naturaliste canadien, 110 11-26.

Sérodes, J.-B. et Troude, J.-P., 1984. Sedimentation cycle of a freshwater tidal flat in the St.Lawrence estuary. Estuaries, 7 : 117-125.

Silverberg, N. et Sundby, B., 1979. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence estuary. Canadian Journal of Earth Sciences, 16 : 939-950.

Singewald, J. et Slaughter, T. H., 1949. Shore erosion and measurement in tidewater Maryland. Maryland Department of Geology, Mines and Water Resources (Baltimore), Bulletin 6, 152 p.

Soares, M. E. et Moreira, A., 1992. Recent saltmarsh changes and sedimenttion rates in the Sado estuary, Portugal. Journal of Coastal Research, 8 : 631-640.

St-Julien, P., 1977. Carte géologique de la région de Cap-Tourmente. *In* Livret-guide des excursions géologiques. New England Intercollegiate Conference (Québec), Département de géologie, Université Laval.

Stephenson, F. P. et Wolfendale, A. W., édit., 1988. Secular solar and geomagnetic variations in the last 10,000 years. Kluwer Academic Press, Dordrecht.

Troude, J.-P., 1986. Étude du cycle sédimentaire annuel d'un estran à forte sédimentation de l'estuaire du Saint-Laurent. Thèse de Ph. D., Département de génie civil, Université Laval, Québec, 168 p. + annexes.

Troude, J.-P. et Ouellet, Y., 1987. Phénomènes contribuant à l'envasement du port de Rivière-du-Loup, p. 297-311. *In* Y. Ouellet, édit., Comptes rendus de la Conférence canadienne du littoral (Québec). Conseil national de recherche du Canada, sous-comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorale (Ottawa).

Troude, J.-P. et Sérodes, J.-B., 1985. Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent, p. 105-119. *In* D. L. Forbes, édit., Comptes rendus de la Conférence canadienne du littoral (St. John's, Terre-Neuve). Conseil national de recherche du Canada, sous-comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorale (Ottawa).

——— 1988. Le rôle des glaces dans le régime morpho-sédimentologique d'un estran de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Canadian Journal of Civil Engineering, 15 : 348-354.

——— 1990. Caractéristiques hydrodynamiques d'un estran à forte sédimentation. Canadian Journal of Civil Engineering, 17 : 148-155.

Troude, J.-P. et al., 1991. Restauration et création de marais à scirpe dans l'estuaire du Saint-Laurent en aval de Québec. Rapport final présenté à Service canadien de la faune, Environnement Canada, Québec, par Robert Hamelin et Associés, Inc., 83 p. + annexes.

Valton, A. M., 1981. Essai d'analyse des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent, décennie 1960-1969. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université de Sherbrooke.

van Eerdt, M. M., 1985. Salt marsh cliff stability in the Oosterschelde. Earth Surface Processes and Landforms, 10 : 95-106.

Vanicek, P., 1976. Pattern of recent vertical crustal movement in Maritime Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 13 : 661-667.

Vanicek, P. et Hamilton, A. C., 1972. Further analysis of vertical crustal movement observation in the Lake St. Jean area, Québec. Canadian Journal of Earth Sciences, 9 : 1139-1147.

Verger, F., 1968. Marais et wadden du littoral français. Biscaye et Frères, Bordeaux, 541 p.

Vigeant, G., 1984. Cartes climatiques du Saint-Laurent. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.

Walcott, R. I., 1972. Late Quaternary vertical movement in eastern North America : Quantitative evidence of glacio-isostatic rebound. Reviews of Geophysics and Space Physics, 10 : 849-884.

Ward, L. G., Kearney, S. et Stevenson, J. C., 1988. Assessment of marsh stability at the estuarine sanctuary site at Monie Bay : Implications for management. Final completion Report, Estuarine Sanctuary Program, National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, D.C., p. 78.

Wray, R. D., Leatherman, S. P. et Nicholls, R.S., 1995. Historic and future land loss for upland and marsh islands in the Chesapeake Bay, Maryland, U.S.A. Journal of Coastal Research, 11 : 1195-1203.