

Mares glacielles et non glacielles dans le marais salé de l'Isle Verte, estuaire du St-Laurent, Québec

Ice-Made Pans and Pools in the Salt Marsh of Isle-Verte, St-Lawrence Estuary, Québec

Glaziale und nicht-glaziale Pfuhle in den Salzmarschen der Isle Verte Insel Mündung des Skt-Lorenz Stromes, Québec

Benoît Gauthier et Michel Goudreau

Volume 37, numéro 1, 1983

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032498ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032498ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Gauthier, B. & Goudreau, M. (1983). Mares glacielles et non glacielles dans le marais salé de l'Isle Verte, estuaire du St-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 37(1), 49–66. <https://doi.org/10.7202/032498ar>

Résumé de l'article

Depuis 1904, de nombreuses hypothèses ont été émises pour expliquer l'origine des mares dans les marais salés côtiers. Au Québec, les chercheurs ont favorisé la thèse d'une origine glacielle, alors qu'ailleurs on a fait appel presque essentiellement à des causes non glacielles. À l'Isle-Verte, la localisation précise du pied de glace au haut de l'hydrolittoral moyen permet de démontrer que des mares glacielles sont créées à chaque printemps sur l'hydrolittoral moyen où abonde *Spartina alterniflora*, tandis que des mares non glacielles existent sur l'hydrolittoral supérieur du marais salé où surviennent les groupements à *Spartina patens*, *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex satina*, *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*. Un inventaire détaillé de 80 mares glacielles et non glacielles permet d'en décrire la flore, la morphométrie et la pédologie. On doit reconnaître que les hypothèses émises à ce jour ne peuvent expliquer adéquatement la genèse des mares non glacielles.

# MARES GLACIELLES ET NON GLACIELLES DANS LE MARAIS SALÉ DE L'ISLE-VERTE, ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT, QUÉBEC

Benoît GAUTHIER et Michel GOUDREAU, Conseil consultatif de l'environnement, 1020, rue Saint-Augustin, Québec, Québec G1R 5J1 et 736, rue Laporte, Montréal, Québec H4C 2P5.

**RÉSUMÉ** Depuis 1904, de nombreuses hypothèses ont été émises pour expliquer l'origine des mares dans les marais salés côtiers. Au Québec, les chercheurs ont favorisé la thèse d'une origine glacielle, alors qu'ailleurs on a fait appel presque essentiellement à des causes non glacielles. À l'Isle-Verte, la localisation précise du pied de glace au haut de l'hydrolittoral moyen permet de démontrer que des mares glacielles sont créées à chaque printemps sur l'hydrolittoral moyen où abonde *Spartina alterniflora*, tandis que des mares non glacielles existent sur l'hydrolittoral supérieur du marais salé où surviennent les groupements à *Spartina patens*, *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex salina*, *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*. Un inventaire détaillé de 80 mares glacielles et non glacielles permet d'en décrire la flore, la morphométrie et la pédologie. On doit reconnaître que les hypothèses émises à ce jour ne peuvent expliquer adéquatement la genèse des mares non glacielles.

**ABSTRACT** *Ice-made pans and pools in the salt marsh of Isle-Verte, St-Lawrence Estuary, Québec.* Since 1904, a good number of proposals to explain the origin of depressions in coastal salt marshes are found in the literature. In Québec, drift-ice has been the only explanation brought forward by the scientific community. Elsewhere, on the contrary, other causes for the genesis of pans were favoured. At Isle-Verte, exact location of the ice-foot on the top of the middle hydrolittoral zone has made it possible to prove that ice-made pans were created each Spring on the middle hydrolittoral where *Spartina alterniflora* flourishes. On the other hand, other causes are responsible for the creation of a variety of pools on the upper hydrolittoral of the salt marsh where *Spartina patens*, *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex palina*, *Spartina pectinata* and *Sonchus arvensis* communities are found. A detailed survey of 80 ice-made pans and pools has allowed the description of their flora, morphometry and pedology. To date, it seems that the numerous hypothesis brought forward are still inadequate to explain the exact genesis of pools in salt marshes, and new biochemical researches are suggested.

**ZUSAMMENFASSUNG** *Glaziale und nicht-glaziale Pfuhe in den Salzmarshen der Isle Verte Insel Mündung des Skt-Lorenz Stromes, Québec.* Seit 1904 gibt es in der Literatur ziemlich viele Hypothesen um den Ursprung der Vertiefungen in den Küsten Salzmarshen zu erklären. In Quebec, wurde Treibeis als einzige Erklärung von der wissenschaftlichen Gemeinschaft angenommen. Anderen Ortes, wurden im Gegenteil andere Gründe für die Genesis von Pflanzen vorgezogen. Auf der Isle Verte Insel machte die genaue Lage des Eisfusses auf der Höhe der Mittel-hydrolateral-Zone es möglich, zu beweisen, dass glaziale Pfannen in jedem Frühjahr auf dem Mittleren-hydrolittoral entstehen, wo *Spartina alterniflora* gedeiht. Andererseits, sind andere Ursachen verantwortlich für die Entstehung von einer Menge von nicht glazialen Pfuhen im oberen Hydrolittoral der Salzmarsh, wo *Spartina patens*, *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Festuca rubra*, *Carex salina*, *Spartina pectinata* *Sonchus arvensis* Gemeinschaften gefunden werden. Eine detaillierte Untersuchung von 80 glazial Pfannen und Pfuhen erlaubte die Beschreibung ihrer Flora, Morphometrie und Pedologie. Bis heute scheinen die verschiedenen Hypothesen immer noch unzulänglich um die genaue Ursache von Pfuhen in Salzmarshen zu erklären, und neue biochemische Forschungen werden vorgeschlagen.

## INTRODUCTION

Dans la plupart des marais côtiers, des dépressions ou mares aux formes et dimensions variées ont été observées. Associé aux marais salés, ce phénomène morphologique a reçu beaucoup d'attention de la part des écologistes, biologistes et géomorphologues depuis le début du siècle. Une abondante terminologie caractérise bien leur effort pour rendre compte de cette réalité dynamique. Ainsi, dans les textes scientifiques écrits en français, les termes les plus courants sont : mare, marette, marelle, cavité, dépression, flaque, trou d'eau et cuvette. Dans la littérature scientifique de langue anglaise, le vocabulaire est tout aussi varié<sup>1</sup>. Pour les fins de cette étude sur leur mode de formation en milieu laurentin, nous utiliserons surtout le terme de mare.

Au Québec, une seule hypothèse a été émise pour expliquer l'origine des mares à l'intérieur des marais salés du Saint-Laurent, soit celle d'un arrachement glacial (HAMELIN et CAILLEUX, 1966; CAILLEUX et HAMELIN, 1968; DIONNE, 1968a, 1968b, 1969, 1970, 1972, 1978a, 1978b). Ces mares, dénommées «*marelles ou mares glacielles*» (DIONNE, 1969), se forment lorsque le pied de glace hivernal est soulevé par les grandes marées printanières arrachant alors le tapis végétal et le substratum minéral qui y sont soudés. Cette thèse, invoquant une seule genèse, devait être reprise par la communauté scientifique québécoise pour les marais salés de tout l'hydrolittoral québécois (CANTIN, 1974; LAMOUREUX et ZARNOVICAN, 1974; LACOURSIÈRE et MAIRE, 1976; CHAMPAGNE, 1978). Toutefois, dans d'autres contrées maritimes, les chercheurs mentionnent des causes différentes susceptibles de produire des mares à l'intérieur du marais salé dont : a) la destruction de la végétation par le bétail ou par l'accumulation de débris organiques (algues, zostères, etc.) et une érosion aréolaire subséquente (WARMING, 1904; REDFIELD, 1972), b) le colmatage, la destruction et la fragmentation de canaux (YAPP *et al.*, 1917; CHAPMAN, 1960) ou, c) la concentration excessive de sel dans le sol par évapotranspiration et la destruction subséquente de la végétation (TAYLOR, 1938; CHAPMAN, 1960). Devant ces multiples hypothèses, il semble dès lors normal de vérifier si l'ensemble des mares observées dans les marais salés du Saint-Laurent résultent uniquement de l'action des glaces ou si d'autres processus interviennent dans leur genèse. À cet effet, des travaux de terrain ont donc été menés aux environs de l'Isle-Verte, à l'été 1974. La température de l'eau, n'excédant pas 0°C de novembre à avril, suscite la formation d'un important pied de glace; la salinité est habituellement supérieure à 20‰ et les plus hautes marées atteignent les 5 mètres.

1. *Pan, panne, salt pan, tidal marsh panne, forb panne, ice-shove pan, ice-made pan, ice extraction pan, pond, pond hole, pool, tide pool, salt marsh pool, ruppia pool, saline pool, brackish pool, depression, rotten spot, hole, pothole.*

## I. MARES GLACIELLES ET NON GLACIELLES LE LONG DU SAINT-LAURENT

La carte de la répartition mondiale des marais salés (CHAPMAN, 1977) indique qu'ils sont importants surtout le long des côtes tempérées et froides, alors que les régions tropicales favorisent davantage les formations arbustives constituées de palétuviers ou de mangroves (fig. 1). Par ailleurs, il est possible de retrouver des mares dans la presque totalité de ces marais. En effet, un grand nombre d'auteurs scientifiques les ont signalées et décrites sommairement, parfois en détail, notamment en ce qui a trait à la végétation, la faune, la physiologie, la morphologie et évidemment l'origine (tabl. I).

La formation des mares par l'érosion glacielle intense le long du Saint-Laurent a acquis une grande notoriété au Québec, tandis qu'elle paraît plutôt secondaire sur les autres hydrolittoraux. Évidemment, ce processus n'a pu être retenu par les chercheurs dont les marais ne sont jamais soumis à l'emprise du pied de glace hivernal, comme dans la majeure partie des États-Unis, en Amérique du Sud, en Angleterre, en France, en Australie et en Nouvelle-Zélande, etc. (fig. 1). Qui plus est, ce mode de formation n'est pour ainsi dire pas mentionné par ceux qui ont travaillé au nord du Canada, en Alaska et en Europe septentrionale, là où le pied de glace s'installe solidement pendant plusieurs mois. Cette absence de référence à la formation de mares par le démantèlement du pied de glace est surprenante de prime abord, mais s'explique de différentes manières. Ainsi, le tapis herbacé peut être absent en hiver ou trop clairsemé pour offrir une réelle emprise au pied de glace (MACDONALD, 1977; JEFFERIES, 1977); de plus, le pied de glace, très actif au printemps, de même que la banquise en été, peut mettre à nu de façon plutôt uniforme une grande partie du marais (MOLENAAR, 1974; JEFFERIES, 1977); une troisième explication proviendrait du fait que la marée serait de trop faible amplitude pour soulever verticalement le pied de glace (nord du Canada : 0,30 m; Suède <1 m), celui-ci se désintégrant alors sur place, comme cela survient sur l'ensemble des lacs du Québec. En définitive, à la lumière de nombreux travaux recensés au niveau mondial (tabl. I), il ne semble pas facile d'établir une relation étroite entre toutes les mares observées dans les marais et la présence d'un pied de glace.

Si on ne fait guère appel au pied de glace pour expliquer les mares, les auteurs sont par contre prolifiques lorsqu'il s'agit d'émettre des hypothèses non glacielles (tabl. II). Par exemple, le premier mode de formation suggéré tient à la destruction du tapis herbacé par le bétail ou l'apport excessif de débris organiques et une érosion aréolaire subséquente (Warming, 1904 *in* DIONNE, 1972); celui-ci fut repris notamment par JOHNSON et YORK (1915), TAYLOR (1938), CHAPMAN (1960) et REDFIELD (1972) et ce, même si le pied de glace est présent le long de certaines côtes étudiées par ces au-

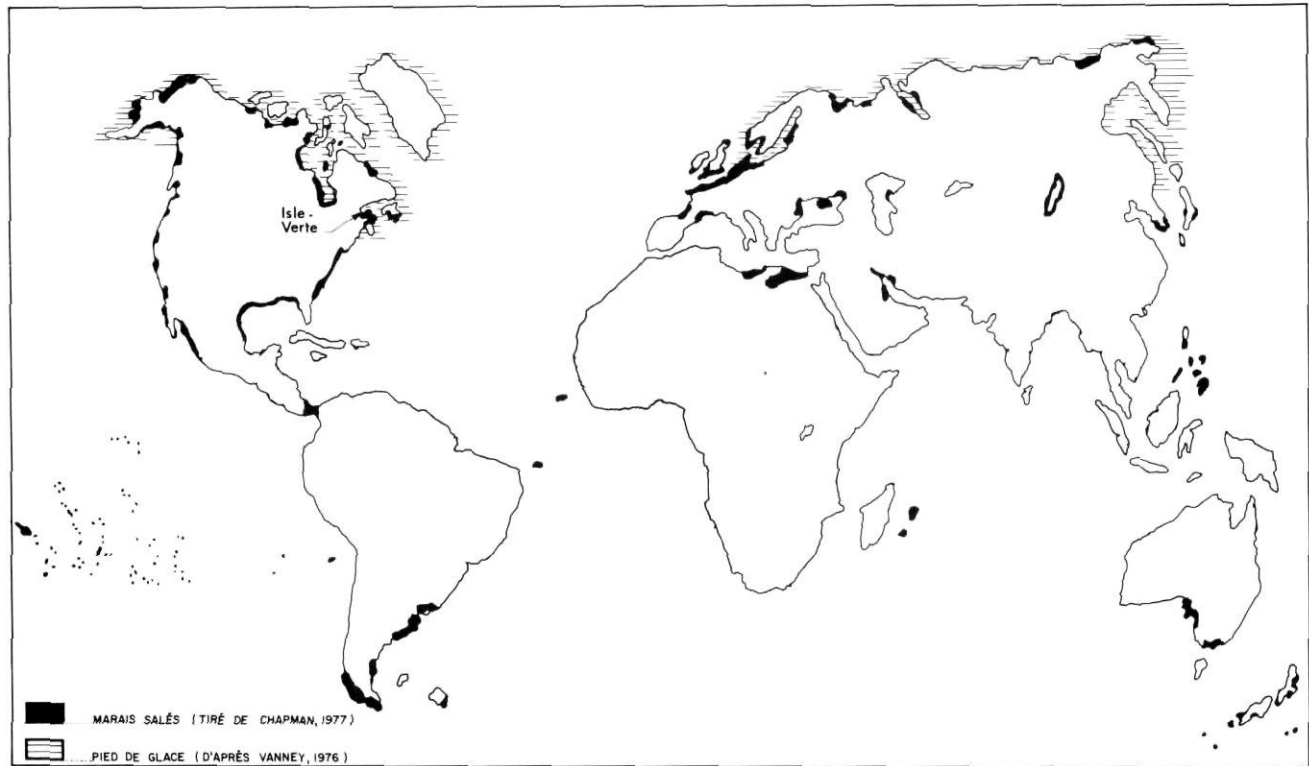


FIGURE 1. Répartition mondiale des marais salés côtiers et des pieds de glace.

*World-wide distribution of coastal salt marshes and icefeet.*

teurs. Depuis Warming, pas moins de quinze hypothèses non glacielles ont été suggérées pour tenter d'expliquer l'origine naturelle et anthropique des mares salées; dans la majorité des cas, il y a bel et bien englacement de l'hydrolittoral, mais les chercheurs font appel à d'autres mécanismes de formation. En 1966, l'hypothèse glacielle est finalement émise par HAMELIN et CAILLEUX; par la suite, on en fit au Québec la seule cause pouvant expliquer la présence des mares dans un marais salé. Depuis, l'hypothèse glacielle s'est rapidement propagée sans pour autant déloger ou remplacer les autres modes de formation proposés antérieurement. En somme, tous les travaux réalisés à l'extérieur du Québec (tabl. II) contribuent à renforcer considérablement notre thèse d'un rôle glacielle plutôt limité, tant le long du Saint-Laurent que partout ailleurs dans les marais côtiers septentrionaux.

Ayant observé à de nombreuses reprises, depuis 1974, l'action du pied de glace sur les marais salés du Saint-Laurent, le mode de formation des mares glacielles avancé par HAMELIN et CAILLEUX (1966) semble irréfutable. Nous ne pouvons toutefois l'étendre à l'ensemble des mares présentes dans ces marais. En effet, nos observations concernant l'emplacement altitudinal exact du pied de glace montrent qu'il n'atteint pas l'hydrolittoral supérieur (*high marsh*) où de nombreuses mares sont présentes (Goudreau, en préparation). Cet aspect, complètement négligé par les chercheurs

québécois, devrait permettre d'amorcer une réconciliation des partisans du glacielle et des autres chercheurs.

Ainsi, à l'Isle-Verte, le pied de glace se forme dès la fin novembre, à une altitude qui n'excède guère le niveau des pleines mers moyennes (fig. 2); il persiste là jusqu'à la fin mars (DIONNE, 1973; EL-SABH, 1979) et parfois en avril (8 avril en 1982 et 24 avril en 1974), alors que la température et l'ampleur des marées se conjuguent pour l'amincir, le craqueler et, finalement, l'arracher avec des fragments du benthos en provenance de l'étage caractérisé par le sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora* (GAUTHIER, 1978). Les mares glacielles qui en résultent, bien que fort nombreuses sur l'hydrolittoral moyen et plus particulièrement sur l'abrupt souvent appelé «*haute slikke*» (*sensu* JACQUET, 1949; VERGER, 1968), n'apparaissent pas sur la photo aérienne (fig. 2: émulsion panchromatique noire et blanche), car la teinte de gris est la même sur le pourtour et le fond des mares. Quant à l'hydrolittoral supérieur, il est recouvert en hiver de neige et d'une glace relativement mince (<40 cm) qui fond sur place au printemps sans créer d'arrachement majeur; les mares sont nombreuses dans la plupart des unités cartographiques comme les unités S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub> et S<sub>6</sub> caractérisées par de multiples groupements dont ceux à *Festuca rubra*, *Salicornia europaea* et *Spartina patens* (fig. 2). C'est d'ailleurs à ce niveau supérieur que la plupart des hypothèses non glacielles ont été émises (tabl.

TABLEAU I

Liste partielle des chercheurs qui ont noté la présence des mares dans les marais salés

HYDROLITTORAL ARCTIQUE			
	** Nordhagen	1954	
	* Schofield	1958	
	* Molenaar	1974	
	*** Short et Wiseman	1974	
	* Kershaw	1975	
	** Dionne	1976	
	* Mac Donald	1977	
	** Glooschenko	1978	
	*** Jefferies <i>et al.</i>	1979	
	* Riley et McRay	1980	
	** Ringius	1980	
HYDROLITTORAL SINO - JAPONNAIS	HYDROLITTORAL EST DU PACIFIQUE	HYDROLITTORAL OUEST DE L'ATLANTIQUE	HYDROLITTORAL EST DE L'ATLANTIQUE
(Pas d'information)	* Barbour <i>et al.</i> 1973	*** Harshberger 1909	** Massart 1907
	* Parsons 1975	* Johnson et York 1915	*** Yapp <i>et al.</i> 1917
	** Phleger 1977	** Conard 1924	** Monod 1926
		* Prat 1933	** Nicol 1935
		** Taylor 1938	** Chapman 1940
		*** Miller et Egler 1950	** Steers 1948
		*** Chapman 1960	*** Turmel 1956
		*** Hamelin et Cailleux 1966	*** Guilcher et Berthois 1957
		*** Dionne 1968	*** Brough <i>et al.</i> 1960-1961
		* Reed et Moisan 1971	* Beeftink 1966
		*** Redfield 1972	*** Verger 1968
		* Cantin 1974	** Tyler 1969
		** Lamoureux et Zarnovican 1974	** Nienhuis 1970
		** Lacoursière et Maire 1976	* Ranwell 1972
		* Reimold 1977	*** Pethick 1974
		** Champagne 1978	** Mansikkaniemi 1976
		*** Bleakney et Meyer 1979	
		** Worgan et Fitzgerald 1981	
HYDROLITTORAL TROPICAL			
	* Mac Donald	1977	
	* Phleger	1977	
HYDROLITTORAL DE L'AustralASIE	HYDROLITTORAL DE L'AMÉRIQUE DU SUD	HYDROLITTORAL MÉDITERRANÉEN	
* Chapman et Ronaldson 1958	(Pas d'information)	* Corre	1961
* Chapman 1960		* Harrant et Jarry	1964

\* signale la présence de mares; \*\* description sommaire; \*\*\* description détaillée

TABLEAU II

Évolution des hypothèses de formation des mares salées (revue et augmentée à partir de DIONNE, 1972)

MODE DE FORMATION	AUTEURS	ANNÉE	PRÉSENCE D'UN PIED DE GLACE
ORIGINE NATURELLE:			
1- Destruction de la végétation par le bétail ou par l'accumulation de débris organiques (algues, zostères, etc.) et érosion aréolaire subséquente.	Warming	1904	
	Massart	1907	
	Harshberger	1909, 1916	
	Johnson et York	1915	P
	Yapp <i>et al.</i>	1917	
	Conard	1924	
	Taylor	1938	P
	Chapman	1960	P
	Verger	1968	
Redfield	1972	P	
2- Décomposition de la végétation par suite de la verse des plantes occasionnée par le vent.	Harshberger	1916	
	Chapman	1960	P

3- Différences de sédimentation se traduisant par une colonisation différentielle qui laisse des creux exposés à l'érosion des vagues.	Yapp <u>et al.</u> Tansley Steers Chapman Verger	1917 1939 1948 1960 1968	P
4- Colmatage, obstruction et fragmentation de chenaux.	Yapp <u>et al.</u> Nicol Tansley Steers Miller et Egler Van Straaten Guilcher et Berthois Turmel Chapman Verger Redfield Jefferies <u>et al.</u>	1917 1935 1939 1948, 1953 1950 1954 1957 1958 1960 1968 1972 1979	P P P P
5- Extension progressive et accroissement irrégulier de la bordure inférieure du marais.	Yapp <u>et al.</u> Verger	1917 1968	
6- Concentration excessive de sel dans le sol par évapotranspiration à certains endroits et destruction de la végétation.	Taylor Chapman Glooschenko	1938 1960 1978	P P P
7- Formation à partir de levées alluviales.	Miller et Egler	1950	P
8- Compaction de la matière organique.	Miller et Egler	1950	P
9- Décomposition de la matière organique sous-jacente.	Miller et Egler	1950	P
10- Coalescence de touffes de végétation, encerclant une dépression par un anneau plus élevé.	Miller et Egler	1950	P
11- Affaisements localisés liés à la circulation souterraine de nappes d'eau.	Turmel	1958	
12- Accumulation d'eau salée qui fait mourir les racines.	Chapman	1960	P
13- Erosion par les glaces flottantes.	Hamelin et Cailleux Cailleux et Hamelin Dionne Redfield	1966 1968 1968, 1969, 1970, 1972 1972	P P P P
14- Arrachage de plantes et piétinement intense par les oies.	Jefferies <u>et al.</u>	1979	P
ORIGINE ANTHROPIQUE:			
15- Prélèvement de sédiments pour l'amendement des terres, la construction de jetées, etc.	Jacquet Turmel Verger	1949 1956 1968	
16- Creusement délibéré de mares artificielles par les chasseurs.	Dallery Verger Gauthier et Boudreault	1955 1968 1980	P
17- Creusement accidentel résultant du passage répété de véhicules lourds.	Verger	1968	

II: HARSHBERGER 1909; JOHNSON et YORK, 1915; CONARD, 1924; NICOL, 1935; MILLER et EGLER, 1950; REDFIELD, 1972; GLOOSCHENKO, 1978; JEFFERIES *et al.*, 1979).

La position du pied de glace nous porte à conclure qu'il existe, en définitive, deux grands types de mares

naturelles dans les marais salés du Saint-Laurent, l'un glacial et l'autre non glacial. Sans doute, ce dernier type est ici aussi bien représenté qu'ailleurs dans le monde et il est probable que l'on doit faire appel à plusieurs hypothèses pour tenter de les expliquer. Quant au type glacial, négligé par les chercheurs étrangers, il est possible de croire qu'il serait mieux développé le

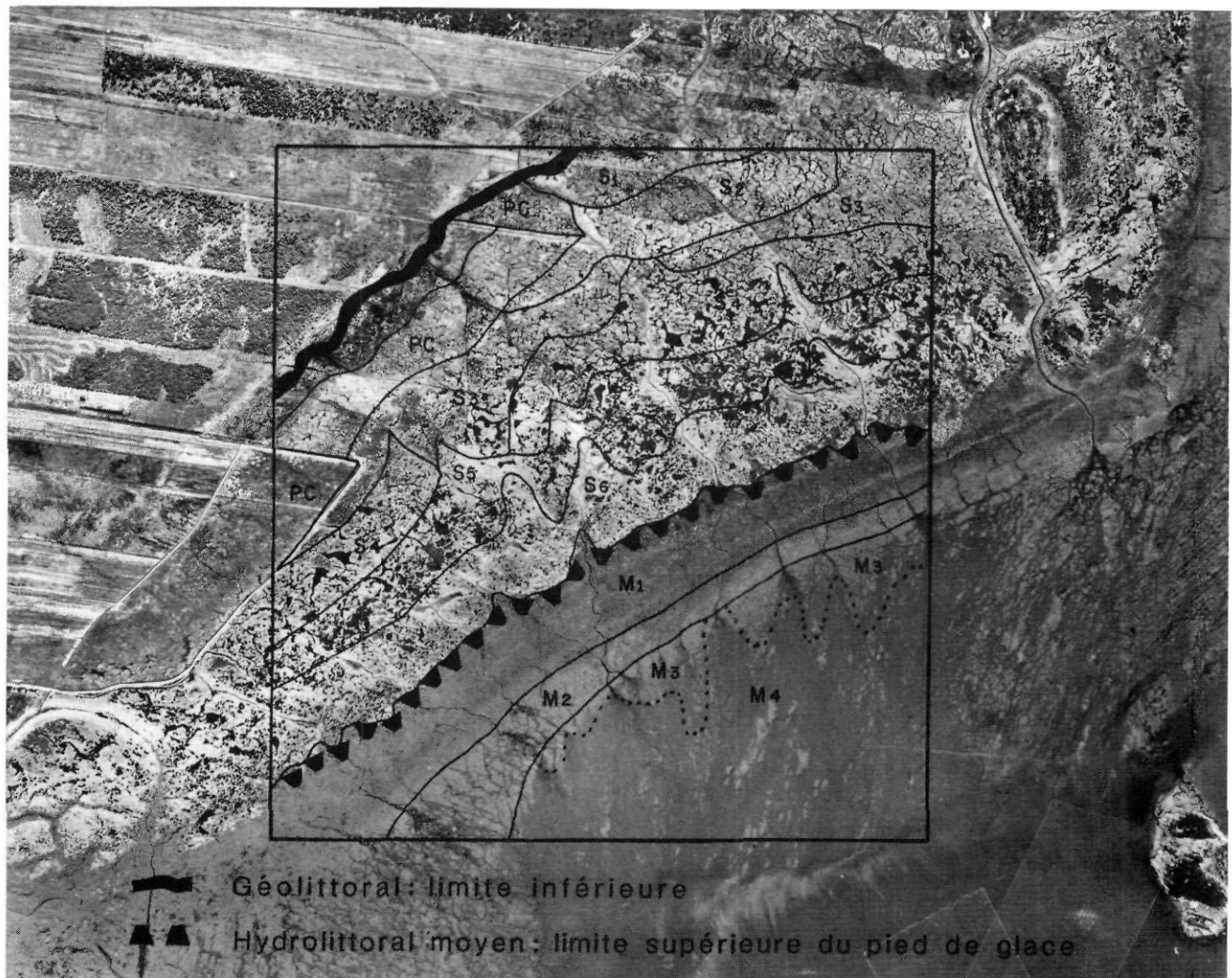


FIGURE 2. Photo-interprétation phyto-écologique du marais salé au sud-ouest de la rivière Verte, Isle-Verte, 1974 (photo aérienne n° Q-63301-93. Hydrolittoral supérieur: PC: culture et pâturage; S<sub>1</sub>: herbaçaie arbustive basse (*Juncus balticus*, *Sanguisorba canadensis*, *Spartina pectinata*, *Myrica gale*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium oxycoccos*, etc.); S<sub>2</sub>: groupements à *Spartina pectinata*, *Sonchus arvensis*, *Iris setosa*, etc.; S<sub>3</sub>: groupements à *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex salina*, *Ranunculus cymbalaria*, etc.; S<sub>4</sub>: groupements à *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Potentilla egedii*, etc.; S<sub>5</sub>: groupement à *Spartina patens*; S<sub>6</sub>: sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina patens*. Hydrolittoral moyen: M<sub>1</sub>: sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora*; M<sub>2</sub>: groupement à *Spartina alterniflora*; M<sub>3</sub>: îlots de *Spartina alterniflora*; M<sub>4</sub>: espace sans végétation (sable moyen avec pierres et graviers) algal (fucales).

Phyto-ecological interpretation of the salt marsh southwest of Rivière Verte, Isle-Verte, 1974 (aerial view Q-63301-93). High hydrolittoral: PC: cultivated fields and pasture; S<sub>1</sub>: low shrubby grassland (*Juncus balticus*, *Sanguisorba canadensis*, *Spartina pectinata*, *Myrica gale*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium oxycoccos*, etc.); S<sub>2</sub>: Groups dominated by *Spartina pectinata*, *Sonchus arvensis*, *Iris setosa*, etc.; S<sub>3</sub>: Groups dominated by *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex salina*, *Ranunculus cymbalaria*, etc.; S<sub>4</sub>: Groups dominated by *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Potentilla egedii*, etc.; S<sub>5</sub>: Group dominated by *Spartina patens*; S<sub>6</sub>: Subgroup with *Salicornia europaea* related to the group dominated by *Spartina patens*. Middle hydrolittoral: M<sub>1</sub>: Subgroup with *Salicornia europaea* related to the group dominated by *Spartina alterniflora*; M<sub>2</sub>: Group dominated by *Spartina alterniflora*; M<sub>3</sub>: Clumps of *Spartina alterniflora*; M<sub>4</sub>: Bare ground (middle sand with small stones and gravel) algal (fucales).

long du Saint-Laurent grâce à des facteurs conjugués tels : un tapis végétal et une rhizosphère des plus denses de *Spartina alterniflora*, un pied de glace épais et de très fortes marées. Chacun des deux types devait faire l'objet d'un inventaire détaillé dans le marais salé de l'Isle-Verte.

## II. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DES MARES DE L'ISLE-VERTE

Au total, 16 places échantillons ont été étudiées de la mi-juillet à la fin août 1974 dans le secteur compris entre Gros-Cacouna — Isle-Verte — Trois-Pistoles. La localisation des diverses places échantillons a été déterminée au hasard à l'intérieur des groupements végétaux qui prédominent du bas vers le haut du marais. Ainsi, cinq de ces places échantillons se situent au niveau de l'hydrolittoral moyen, alors que les onze autres sont localisées sur l'hydrolittoral supérieur. À chaque place échantillon, cinq mares distinctes, mais le plus près possible les unes des autres, ont été choisies au hasard pour en faire un inventaire détaillé.

L'échantillonnage comprend 80 mares. Chacune a fait l'objet d'une description floristique, morphométrique et sédimentologique. À l'intérieur et sur le pourtour immédiat de la mare (moins de 30 cm), les espèces d'algues et les plantes vasculaires ont été notées; toutefois, étant donné les difficultés à prélever et à identifier les algues vertes, on ne saurait prétendre à leur inventaire exhaustif. Nous avons fait les mesures morphométriques suivantes : l'inclinaison des parois, la longueur, la largeur, la profondeur de même que la tranche d'eau présente au moment du relevé. Pour les analyses physico-chimiques des sédiments au fond d'une mare, des échantillons furent prélevés pour les deux premiers horizons et analysés en laboratoire; les différents paramètres de granulométrie, de carbone, d'azote, de phosphore assimilable, des bases échangeables incluant le sodium, de pH et de conductivité ont été analysés selon diverses méthodes déjà présentées (GAUTHIER, 1978).

### LES MARES GLACIELLES

Il a déjà été reconnu (GAUTHIER, 1978) que le marais renfermait deux communautés au niveau de l'hydrolittoral moyen : le groupement à *Spartina alterniflora* survient le premier en altitude suivi, sur l'abrupt ou la haute slikke, du sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora*. Règle générale, le pied de glace se soude à l'abrupt; aussi, nous attribuons une origine glacielle à toutes les mares présentes là où ces deux communautés croissent.

#### Groupement à *Spartina alterniflora*

La *Spartina alterniflora* colonise le sol nu à partir d'une altitude approximative de 2 m et caractérise à elle seule tout le marais jusque vers 3,4 m d'altitude. Son recouvrement varie de 7-8% à 20% sur une topographie

d'ensemble ne dépassant pas 1% d'inclinaison (GAUTHIER, 1978). Les dix mares glacielles étudiées (tabl. III, h.-t. : places échantillons n<sup>os</sup> 78 et 48) voient toutes leur bordure occupée par la *Spartina alterniflora* dont la densité et la hauteur paraissent les mêmes que celles des individus plus éloignés. La Spartine commence à réenvahir cinq mares; ce phénomène témoigne parfois d'un arrachage glacielle incomplet, mais surtout de la vitalité de la Spartine au niveau de tout l'hydrolittoral moyen. Quatre mares sont encore inoccupées par la Spartine, quoique ce retard a sans doute été récupéré l'année suivante. Les deux mares les plus profondes (>10 cm) renferment des algues vertes dont *Enteromorpha intestinalis*.

Les parois des mares sont surtout en pente douce, mais deux d'entre elles présentent une bonne verticalité. Les dimensions des mares de la place échantillon n<sup>o</sup> 78 (tabl. III) vont de 2,3 à 3,3 m pour la longueur et de 1,1 à 3 m pour la largeur; elles sont un peu plus grandes à la place échantillon n<sup>o</sup> 48 avec un maximum de 8 m de long et 6,5 m de large. La profondeur s'avère sensiblement la même aux deux places échantillons avec un maximum de 14 cm. En moyenne, les dimensions des dix mares glacielles sont : longueur : 4,13 m; largeur : 2,63 m; profondeur : 6,8 cm et épaisseur de l'eau : 5,3 cm. La figure 3 illustre ce type de mare glacielle plus longue que large et de faible profondeur. Leur densité, calculée grâce à des mesures prises sur l'ensemble du territoire au moyen de quadrats de 50 m × 50 m, s'élève à moins de 10 mares dans tous les cas.

Une seule mare glacielle a fait l'objet d'analyses physico-chimiques (cf. 48-2; tabl. IV). La texture des deux « horizons » superficiels est un loam argileux avec respectivement : 24,8% et 34,8% de sable, 39,6% et 35,6% de limon et 35,6% et 29,6% d'argile. Cette faible décroissance du limon et de l'argile au niveau du deuxième horizon semble se traduire par la même baisse au niveau de la matière organique (4,5% et 3,6%), de l'ensemble des cations échangeables et de la conductivité (11,0 et 9,0 mmhos). Par rapport aux données du groupement environnant présentées par GAUTHIER (1978), le taux de matière organique est ici plus élevé d'environ 2% et la conductivité, supérieure de 2 à 3 mmhos; les autres paramètres présentent des tendances difficiles à interpréter, probablement à cause de la grande variation dans la mise en place des matériaux.

#### Sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora*

Le milieu propice à la présence de ce sous-groupement offre l'aspect d'une basse herbaçie continue. La *Spartina alterniflora* domine largement la physionomie du marais avec un recouvrement supérieur à 80%, contre à peine 5% pour la *Salicornia europaea*. Le système racinaire de la Spartine prend de l'importance par rapport à sa position dans la communauté précédente : les rhizomes atteignent une profondeur de plus de 50 cm



TABLEAU IV

Analyse physico-chimique des sédiments au fond des mares

DIVISION DE L'HYDROLITTORAL		MOYEN								SUPÉRIEUR																		
Groupement prédominant		<i>Spartina alterniflora</i>		<i>Spartina alterniflora</i> et <i>Salicornia europaea</i>				<i>Spartina patens</i> et <i>Salicornia europaea</i>		<i>Spartina patens</i>						<i>Salicornia europaea</i> et <i>Spergularia marina</i>			<i>Festuca rubra</i> , <i>Carex</i> <i>paleacea</i> et <i>Carex salina</i>				<i>Spartina pectinata</i> et <i>Sonchus arvensis</i>					
N° place échantillon		48-2	48-2	49-4	49-4	81-1	81-1	47-2	47-2	79-1	79-1	16-1	16-1	16-2	16-2	16-4	16-4	16-4	25	25	25	89-4	89-4	29-1	29-1	100-5	100-5	100-5
N° de fichier		69	70	71	72	113	114	67	68	109	110	11	12	13	14	15	16	17	33	34	35	123	124	42	43	148	149	150
Altitude en milieu intertidal (cm)		318	318	340	340	377	377	411	411	415	415	463	463	463	463	463	463	463	448	448	448	485	485	457	457	505	505	505
Profondeur (cm)		C <sub>1</sub> S(g)	C <sub>2</sub> S(g)	Cs(g)	IICs(g)	Cs(g)	IICs(g)	Cs(g)	IICs(g)	C <sub>1</sub> S(g)	C <sub>2</sub> S(g)	C <sub>1</sub> S(g)	C <sub>2</sub> S(g)	Cs(g)	IICs(g)	Cs(g)	IICs	IICs	Cs(g)	IICs	IICs	0hs	Cs(g)	Cs(g)	IICs(g)	0hs	Cs(g)	IICs(g)
		0-4	>4	0-3	>3	0-3,5	>3,5	0-2	>2	0-2	>2	1-2	>2	1-2	2-5	0-2	2-5	>5	0-2	2-9	>9	0-6	6-8	0-4	4-15	0-4,1	4,1-17,1	17,1-48,1
Humidité (%)		24,8	34,8	28,8	16,8	54,0	24,0	14,8	10,8	28,0	24,0	10,4	12,4	4,4	16,4	-	16,4	40,0	16,0	30,0	20,0	-	34,0	-	22,0	-	28,0	24,0
Ciment (%)		39,6	35,6	39,6	37,6	34,0	40,0	53,6	45,6	44,0	44,0	50,0	52,0	48,0	50,0	-	40,0	36,0	62,0	48,0	44,0	-	54,0	-	40,0	-	44,0	66,0
Argile (%)		35,6	29,6	31,6	45,6	12,0	36,0	31,6	43,6	28,0	32,0	39,6	35,6	47,6	33,6	-	43,6	24,0	22,0	22,0	36,0	-	12,0	-	38,0	-	28,0	10,0
Matière org. (%)		2,6	2,1	2,7	4,2	0,7	1,9	0,6	4,2	3,2	2,3	6,9	6,7	6,2	4,7	8,2	5,4	2,8	8,1	7,0	5,6	17,7	6,5	8,7	4,2	25,3	5,4	4,3
C.N. (%)		4,5	3,6	4,7	7,2	1,2	3,3	1,1	7,2	5,5	3,9	11,9	11,6	10,7	8,2	14,1	9,3	4,8	13,9	12,0	9,7	30,6	11,3	15,0	7,2	43,7	9,3	7,5
C.P. (%)		0,12	0,14	0,13	0,41	0,03	0,08	0,33	0,21	0,15	0,09	0,43	0,61	0,40	0,30	0,41	0,29	0,17	0,70	0,57	0,32	1,01	0,65	0,66	0,35	1,42	0,47	0,22
C/N (%)		21,66	15,0	20,76	10,24	23,33	23,75	1,81	20,0	21,33	25,55	16,04	10,98	15,5	15,56	20,	18,62	16,47	11,57	12,28	17,5	17,52	10,0	13,18	12,0	17,81	11,48	19,54
Couleur... sec		10YR5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	5Y5/1	10YR5/1	10YR5/1	5Y5/1	5Y5/1	10YR5/1	5Y5/1	5Y5/1	2,5Y4/4	5Y4/1	5Y4/1	10YR4/2	5Y4/1	2,5Y5/2	5Y5/1	10YR3/2	10YR5/1	10YR5/1
Couleur... humide		5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	10YR3/2	10YR3/2	10YR3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	5Y3/1	2,5Y3/2	5Y3/1	5Y3/1	10YR2/2	5Y2/1	10YR3/2	5Y3/1	10YR3/1	5Y3/1	10YR3/1
Matières ass. (ppm)		379	393	407	456	320	530	320	257	407	484	265	215	354	242	221	196	228	133	407	470	52	152	133	430	31	310	282
Cations échangeables (m.é./100 g)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	1,0	0,0	4,0	1,5	1,0	0,0	2,0	7,0
Ca		5,20	4,0	4,8	5,2	2,40	4,0	9,20	6,40	6,4	4,0	10,40	11,60	16,80	8,40	16,0	9,2	6,8	10,0	8,0	7,20	13,40	9,20	9,0	5,6	15,1	4,60	3,80
Mg		7,51	6,46	7,05	9,38	4,69	8,28	14,09	10,65	9,69	7,51	13,23	13,63	13,63	9,69	16,57	10,65	6,42	19,37	15,56	12,83	32,06	21,31	16,47	10,29	30,06	37,54	11,02
Na		1,43	1,19	1,41	1,93	0,84	1,74	2,55	2,22	1,87	1,68	2,60	1,21	2,57	0,99	1,41	2,20	1,39	3,79	2,85	2,39	4,39	3,55	3,87	2,25	4,24	1,71	1,50
Cations totales		14,48	11,41	15,59	18,65	8,07	15,87	36,19	22,27	18,94	14,48	27,84	25,33	20,8	19,7	37,31	73,5	23,12	104,68	85,75	73,50	102,4	67,93	55,04	24,49	99,11	20,60	19,21
Capacité d'échange		28,62	23,06	28,85	36,16	16,00	29,89	62,03	41,54	36,89	27,67	54,07	51,77	53,8	38,85	71,29	95,5	37,73	137,84	112,16	95,92	152,3	105,9	84,38	24,49	148,51	64,45	35,53
Saturation (%)		28,62	23,06	28,85	36,16	16,50	29,89	62,03	41,54	36,89	28,17	54,07	51,77	53,8	38,85	71,29	95,5	37,73	137,84	114,66	96,92	152,3	105,9	85,88	12,63	148,51	64,45	42,53
pH (sol-eau 1:1)		100	100	100	100	97	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	99	100	96	98	98	100	97	83
Conductivité (mmhos)		7,1	7,2	7,1	7,1	6,9	7,0	7,3	7,5	7,0	6,9	7,2	7,5	7,7	7,4	7,5	7,6	7,2	6,6	6,0	6,3	7,0	5,5	6,3	6,2	6,8	5,9	4,5
		11,0	9,0	11,2	14,3	9,0	15,5	23,0	18,0	19,0	13,0	23,0	19,0	16,0	15,0	31,0	16,0	11,5	44,0	35,0	29,0	29,6	45,0	43,0	19,0	17,6	15,0	15,0

contre à peine 30 cm et souvent moins de 15 cm (GAUTHIER, 1978). En bordure des mares glacielles, la *Spartina alterniflora* domine toujours; elle persiste dans certaines mares et en réenvahit même quelques-unes. La *Salicornia europaea* n'est fréquente autour des mares qu'à la limite supérieure de l'hydrolittoral moyen (tabl. III: place échantillon n° 47). C'est également à ce niveau supérieur que l'on note une plus grande richesse floristique avec sept nouvelles espèces d'algues dont *Enteromorpha kyllini* et *Prasiola crispa*, notées pour la première fois à cette latitude (GAUTHIER *et al.*, 1980); de plus, *Ruppia maritima* y est régulièrement présente. La grande diversité floristique de la partie la plus haute de l'hydrolittoral moyen constitue sans doute un bon indice de la plus grande pérennité des mares ou de leur ancienneté. Outre la dynamique glacielle, soulignons le fait qu'à ce niveau, les mares ont tendance à se joindre par d'étroits couloirs créés par le va-et-vient de la marée et l'écoulement général du marais sur une pente de 2,1 à 5% (GAUTHIER, 1978).



FIGURE 3. Mare glacielle (mare 78-2) au niveau du groupement à *Spartina alterniflora*, en partie réenvahie par *Spartina alterniflora*.

*Ice-made pan (78-2) located at the level dominated by *Spartina alterniflora* and partly occupied by *Spartina alterniflora*.*

La majorité des mares présentes dans ce sous-groupement ont des parois verticales ou subverticales, ce qui constitue un net accroissement de l'inclinaison par rapport aux mares du groupement précédent. Les dix mares des places échantillons n°s 48 et 81 (tabl. III) ont les dimensions moyennes suivantes: longueur: 3,9 m; largeur: 1,7 m; profondeur: 15,7 cm (fig. 4). À l'exception de la profondeur qui double, ces dix mares sont légèrement plus petites que celles décrites auparavant. Par contre, les cinq mares de la place échantillon n° 47 se distinguent en étant deux fois plus grandes: longueur: 8,0 m; largeur 3,9 m et profondeur: 13 cm. Par ailleurs, l'épaisseur de la vase des 15 mares atteint une moyenne de 13 cm, triplant ainsi celle des mares du groupement à *Spartina alterniflora*. De plus, la densité des mares dépasse souvent la vingtaine dans les quadrats d'une superficie de 250 m<sup>2</sup>.

Dans les trois mares analysées (tabl. IV), la texture des premiers horizons varie entre un loam argileux sur



FIGURE 4. Mare glacielle (mare 81-2) dans le sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina alterniflora*, reliée à un ruisseau recolonisée la même année par *Spartina alterniflora*.

*Ice-made pan (81-2) located in the subgroup with *Salicornia europaea* related to the group dominated by *Spartina alterniflora* joined to a small creek also reoccupied by *Spartina alterniflora* that same year.*

argile (mare 49-4), un loam sableux sur un loam argileux (mare 81-1) et un loam limono-argileux sur une argile limoneuse (mare 47-2). La mare 47-2 (tabl. IV) est peu sablonneuse, ce qui la distingue de toutes les mares précédentes, notamment au niveau des bases échangeables et de la salinité dont les valeurs sont largement supérieures.

Ainsi, de l'ensemble des mares du sous-groupe à *Salicornia europaea*, celles de la place échantillon n° 47 s'avèrent particulières par leur flore, leur morphométrie et plusieurs propriétés physico-chimiques des vases.

### LES MARES NON GLACIELLES

Les mares dont l'origine n'est pas glacielle se répartissent inégalement sur l'ensemble de l'hydrolittoral supérieur. Onze places échantillons furent analysées à l'intérieur des communautés les plus importantes du marais salé. En fonction du gradient altitudinal, nous rencontrons les communautés suivantes : 1) à *Spartina patens* et *Salicornia europaea*; 2) à *Spartina patens*; 3) à *Salicornia europaea* et *Spergularia marina*; 4) à *Festuca rubra*, à *Carex paleacea* et à *Carex salina*; 5) à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*; 6) à *Spartina pectinata* et *Iris setosa*; 7) à *Juncus balticus* et *Sanguisorba canadensis*. Le rang taxonomique de ces peuplements n'est pas encore définitif (Gauthier, en préparation) et, dépendant du relief et de la nature du sol, cette séquence pourrait être plus réduite localement.

#### Sous-groupe à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina patens*

La communauté à *Spartina patens* et à *Salicornia europaea* est habituellement la première à survenir sur l'hydrolittoral supérieur. La *Spartina patens* domine largement avec un recouvrement supérieur à 90%, alors que la Salicorne apparaît de façon constante mais avec un faible recouvrement. De nombreuses mares s'y retrouvent.

À la place échantillon n° 79 (tabl. III), la végétation en bordure des mares comprend essentiellement deux espèces végétales, à savoir : *Spartina alterniflora*, qui croît ici de façon azonale, et *Spartina patens*, plante la plus caractéristique du marais à cette altitude et persistante en plusieurs endroits sur le rebord. Par ailleurs, plusieurs mares sont partiellement dépourvues de végétation de bordure (fig. 5); ce phénomène de brisure du rebord est évident pour chaque mare, mais s'avère rarement total. Cette absence de végétation en plusieurs segments du pourtour résulte d'un ou plusieurs processus d'érosion physico-chimique très actifs qui entraînent la mort de *Spartina patens*, sans que d'autres espèces soient capables ou aient eu le temps de s'installer. Outre cette détérioration, nous notons de très petits canaux, sous le tapis de la *Spartina patens* ou à ciel ouvert, reliant d'autres mares entre elles et détruisant ainsi le tapis végétal constitué par *Spartina patens*.



FIGURE 5. Érosion d'une partie du pourtour d'une mare non glacielle (mare 79-5) dans le sous-groupe à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina patens*. À noter l'abondance d'Algues vertes à la surface.

Partially eroded border of a pool (79-5) located in the sub-group with *Salicornia europaea* related to the group dominated by *Spartina patens*. Notice the abundance of green algae at the surface.

À l'intérieur des mares, *Ruppia maritima* est toujours présente avec une abondance ou un volume supérieur à 25%; le reste du volume est occupé par plusieurs espèces d'Algues vertes et quelques Cyanophycées. L'épaisseur de l'eau dépasse les 25 cm et constitue un facteur limitant pour *Spartina alterniflora* qui est totalement absente.

Les parois ont une inclinaison principalement verticale avec quelques endroits subverticaux. La détérioration du bord expliquerait la subverticalité de certaines parois. La longueur moyenne de mares est de 5,3 m et la largeur moyenne, de 2,8 m; ces dimensions sont légèrement supérieures à celles présentées auparavant sur le haut de l'hydrolittoral moyen, à l'exclusion de la place échantillon n° 47 qui les surpassent toutes. Toutefois, la profondeur (entre 33 et 42 cm) devient deux fois plus accusée que pour les mares précédentes. L'accroissement de la profondeur peut dépendre possiblement de deux processus : a) une défloculation des argiles sur le pourtour et au fond des mares salées, occasionnée par des processus physico-chimiques et biochimiques très peu étudiés (FREY et BASAN, 1978); b) un rehaussement rapide entre les mares rendu possible par le tapis végétal dense de *Spartina patens* qui retient les sédiments. La sédimentation serait donc plus importante à l'extérieur qu'à l'intérieur des mares.

Les deux premiers horizons du fond de la mare 79-1 (tabl. IV) constituent un loam argileux. Le taux de matière organique, relativement faible (5,5% et 3,9%), reste comparable avec les valeurs obtenues dans les analyses précédentes. L'azote, le phosphore assimilable et l'ensemble des cations échangeables sont aussi du même

ordre de grandeur, en particulier si nous excluons les données plus élevées de la mare 47-2.

Ainsi, le marais est à ce niveau troué de nombreuses mares (fig. 2; unité S<sub>6</sub>). L'on y constate également de fortes tensions exprimées par la détérioration du rebord des mares et par un certain agrandissement au détriment de la communauté à *Spartina patens* qui, pourtant, paraît résister à cette dynamique mieux que partout ailleurs dans le marais. Par ordre d'importance, les modes de formation naturelle que l'on peut invoquer pour expliquer l'origine de ces mares non glacielles sont, en s'inspirant du tableau II: 1) destruction de la végétation par accumulation de débris organiques (algues, bois, radeau de végétation) et érosion aréolaire; 2) accumulation d'eau salée qui fait mourir les racines; 3) arrachage de plantes et piétinement intense par les oies; 4) affaissements localisés, liés à la circulation souterraine de nappes d'eau.

Les trois premiers modes de formation, maintes fois signalés dans la littérature, expliquent assez bien le creusement initial des mares, mais ne contribuent guère à rendre compte de leur surcreusement. Cet aspect, pourtant majeur, n'a pas été abordé par la communauté scientifique.

#### Groupement à *Spartina patens*

Ce groupement est essentiellement monospécifique avec *Spartina patens* qui occupe toute la superficie. Habituellement, on le trouve plus éloigné de l'abrupt ou haute slikke que le sous-groupement précédent. En bordure immédiate des mares, *Spartina patens* est de moins en moins présente, remplacée par de petites communautés constituées de: *Spartina alterniflora*, *Salicornia europaea*, *Glaux maritima*, *Triglochin maritima*, *Limonium nashii*, *Plantago maritima*, *Spergularia marina*, *Puccinellia paupercula*, *Atriplex sp.*, *Potentilla egedii*, *Festuca rubra* (tabl. III). Toutes ces espèces traduisent un recul important de *Spartina patens*.



FIGURE 6. Mare(s) non glacielle(s) (mare 82-2) au milieu du groupement à *Spartina patens*; détérioration du marais et agrandissement intense des mares réenvahies par *Spartina alterniflora*.

Pool(s) (82-2) in the group dominated by *Spartina patens*. Notice the deterioration of the salt marsh and the great increase in size of the pools where *Spartina alterniflora* flourishes.

Le processus d'érosion physico-chimique paraît s'accroître à ce niveau où nous remarquons une détérioration accrue des rebords, un agrandissement excessif des mares, parfois même une coalescence de celles-ci (fig. 2, unité S<sub>5</sub>; fig. 6). En effet, la longueur et la largeur sont deux à trois fois plus grandes, parfois davantage, que les mares du sous-groupement précédent avec des valeurs qui peuvent excéder les 30 m. Par ailleurs, la profondeur et l'épaisseur de l'eau tendent à diminuer (tabl. III); les Algues vertes et *Ruppia maritima* persistent, mais nous assistons à la venue de *Spartina alterniflora* et même de *Salicornia europaea* là où l'eau n'est plus permanente. Une autre algue y fut récoltée pour la première fois au Québec: il s'agit de *Rozenvirgilla polyrhiza* (GAUTHIER et al., 1980).

Cette transformation assez radicale du marais en faveur de milieux aquatiques (mares) dépend sans doute des processus de formation déjà énoncés au sous-groupement précédent, auxquels on peut ajouter d'autres agents d'érosion susceptibles de faire reculer la limite externe de la mare: 1) érosion par les vagues engendrés par le vent à l'intérieur même des mares; 2) un taux de salinité parfois plus élevée dans la mare qui tue la végétation périphérique et primaire du marais; 3) amas d'algues vertes rejetées sur les bords des mares par le vent ou la marée et dépérissement des plantes vasculaires (fig. 7); 4) cryoturbation lors de l'engel ou du dégel saisonnier.



FIGURE 7. Amoncellement d'algues séchées, déposées par la marée sur le pourtour d'une mare non glacielle; groupement à *Spartina patens* en net recul en faveur de *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, etc.

Accumulation of dry algae left on the border of the pool by the tide; *Spartina patens* is less abundant in favour of *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, etc.

Quant au rehaussement inégal du fond des mares, il semble étroitement relié à l'importante destruction du marais environnant. On peut aussi supposer un certain apport de sédiments par l'entremise du réseau de drainage, mal défini, qui traverse le marais supérieur et y aboutit en partie.

Les analyses physico-chimiques des sédiments superficiels de trois mares (16-1, 16-2 et 16-4; tabl. IV) révèlent principalement un accroissement du limon, de l'argile et de la matière organique par rapport aux analyses précédentes. En relation avec l'augmentation de ces particules fines, on retrouve plus de calcium, de magnésium et de sodium. La salinité tend aussi à s'élever, tandis que le phosphore décroît.

#### Groupements à *Salicornia europaea* et à *Spergularia marina*

La détérioration du marais ou le recul de la végétation primaire, caractérisée par *Spartina patens*, atteint son intensité maximale avec le remplacement complet de cette espèce par plusieurs plantes dont *Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Atriplex* sp., *Potentilla egedii*, *Triglochin maritima*, *Limonium nashii*, *Puccinellia paupercula*, *Glaux maritima* et *Plantago maritima*. Elles forment de petites communautés à deux ou trois espèces, souvent à une seule, qui en font autant de groupements ou de sous-groupements différents. Ces plantes se retrouvent en bordure avec *Spartina alterniflora* et même dans tout l'espace compris entre les mares. Les places échantillons n<sup>os</sup> 25 et 83 (tabl. III) représentent bien cette dynamique du marais.

Les dimensions des mares mesurées à l'intérieur du groupement à *Spartina patens* diminuent considérablement, au niveau de ces groupements, tant en longueur, en largeur, qu'en profondeur; toutefois la plupart des périmètres obtenus lors de l'expansion maximale des mares sont encore perceptibles grâce aux diverses configurations du tapis végétal et au micro-relief encore visible là où s'étendaient ces dépressions. Il est donc facile de constater que des mares ont complètement disparues, tandis que d'autres sont scindées en deux ou trois nouvelles entités (fig. 8). Partout, les mares s'avèrent en nette régression. Bien plus, la plupart s'assèchent ou ne conservent qu'une petite quantité d'eau entre le passage mensuel de deux marées. *Ruppia maritima*, hydrophyte, n'a donc plus sa place et les Algues vertes perdent aussi beaucoup d'importance, alors que *Spartina alterniflora* et *Salicornia europaea*, deux halophytes strictes, envahissent ces dépressions très salées.

Les mares se vident souvent par évaporation et évapotranspiration ou même par une vidange subite à la faveur d'une fuite souterraine ou par le réseau de drainage superficiel. Cette perte d'eau entraîne une sursalinitation du fond (44 mmhos en surface) et une capacité d'échange très élevée (138 m.é./100 gr. en surface) (tabl. IV). L'abondante matière organique produite par le marais tend à enrichir le sol de ces dépressions (13,9%



FIGURE 8. Ancienne mare non glacielle (mare 83-4) scindée en deux et en voie de disparition; colonisation par *Spartina alterniflora* et *Salicornia europaea* au niveau des groupements à *Salicornia europaea* et à *Spergularia marina*.

*Salt pan (83-4) divided in two and more or less filled with sediments; Spartina alterniflora and Salicornia europaea could grow in the salt pan; at this level, the marsh is characterized by groups dominated by Salicornia europaea and Spergularia marina.*

en surface). En outre, l'assèchement plus ou moins périodique rend le milieu plus aérobie; ce phénomène occasionne une certaine acidification du sol (pH 6.6 en surface) par l'oxydation des sulphures et une activité microbienne accrue (WAIZEL, 1972).

#### Groupements à *Festuca rubra*, à *Carex paleacea* et à *Carex salina*

Plus haut en altitude, des halophytes des milieux tempérés froids font leur apparition: *Festuca rubra*, *Carex paleacea*, *Carex salina*; elles croissent ensemble ou forment des communautés distinctes. La venue de ces plantes modifie le dynamisme végétal du marais salé. Elles remplacent les espèces des groupements à *Salicornia* et *Spergularia* pour former un tapis végétal plus dense et plus fermé avec *Spartina patens* de nouveau très envahissante. Le processus d'érosion superficiel et diffus du marais autour des mares s'en trouve

fortement diminué. Les mares persistent grâce à leur intégration sporadique ou régulière à un réseau de drainage actif et complexe. Leur longueur et leur largeur varient beaucoup, tandis que la profondeur reste la même dans une place échantillon donnée; la verticalité des parois est aussi irrégulière.

Au fond des mares les mieux individualisées (tabl. III; place échantillon n° 89), on retrouve sensiblement le même cortège d'Algues vertes et, occasionnellement, *Ruppia maritima*. Cependant, plusieurs mares ont un contour mal défini, et les descriptions floristiques effectuées (tabl. III; place échantillon n° 29) valent tant pour les bordures internes et externes, alors que des espèces capables de supporter des milieux très humides telles *Scirpus maritimus*, *Carex mackenziei*, *Spartina patens* et *Eleocharis parvula* les envahissent.

Les analyses de sol révèlent des taux de matière organique élevés et une matrice minérale presque inexistante en surface. Ces sédiments demeurent très salés, riches en bases échangeables. Aussi, le pH de la place échantillon n° 29, plus faible (6,3) que celui de la place échantillon n° 89 avec 7,0, reflète quelque peu l'acidification du milieu lorsque les mares s'assèchent.

#### Groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*

En dehors des chenaux, on peut difficilement trouver des mares bien constituées au niveau du groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*. Les mares sont petites, plutôt profondes avec une mince tranche d'eau (fig. 9). On retrouve quelques Algues vertes pratiquement non identifiables et *Ruppia maritima* là où les mares conservent un peu d'eau. La plupart sont colonisées



FIGURE 9. Petite mare non glacielle (mare 100-2) en partie colonisée par *Carex mackenziei*, *Scirpus maritimus* et *Spartina patens* au niveau du groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*.

*Forb panne (100-2) partly occupied by Carex mackenziei, Scirpus maritimus and Spartina patens; all around the panne, the group dominated by Spartina pectinata and Sonchus arvensis is the most important.*

par de multiples plantes vasculaires telles *Scirpus maritimus*, *Carex mackenziei* et notamment les trois Spartines: *Spartina alterniflora* et *Spartina patens*, à leur limite supérieure, et *Spartina pectinata* à sa limite inférieure. En bordure, les plantes les plus typiques sont *Spartina patens*, *Scirpus maritimus* et *Carex paleacea*, auxquelles s'ajoutent la plupart des plantes dudit groupement, mais non énumérées au tableau III.

Les sédiments de la mare 100-5 (tabl. IV), une des plus humides de cette place échantillon, renferment beaucoup de matière organique en surface avec 43,7%; en profondeur, elle subit une forte oxydation, et les valeurs baissent rapidement à 9,3% et 7,5%. Les bases échangeables, encore très élevées, décroissent avec celle de la matière organique. Le milieu, faiblement acide en surface avec un pH de 6,8, devient très acide (pH 4,5) à quelques centimètres de la surface. La salinité de l'ordre de 15 mmhos se compare à celles mesurées dans des mares situées beaucoup plus bas dans le marais; toutefois, par rapport aux groupements à *Festuca rubra* et à *Carex paleacea*, il y a une nette diminution, provoquée, sans doute, par les précipitations et le ruissellement continental.

#### Groupements à *Spartina pectinata* et *Iris setosa* et à *Juncus balticus* et *Sanguisorba canadensis*

Au niveau de ces deux groupements (tabl. III; places échantillons nos 105 et 106) qui se succèdent en altitude, les mares, telles qu'analysées précédemment, n'existent pratiquement plus. Le relief est plutôt en bosses et en creux, aux contours assez mal définis. Nous avons tenu à les présenter au tableau III afin de faire ressortir davantage la limite supérieure des mares au groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis*.

Les creux, mal drainés, sont complètement tapissés de végétation, à moins qu'un excédent d'eau ou de sel ne vienne la tuer. Les plantes vasculaires les plus représentatives de ces dépressions ou concavités assez douces sont *Scirpus maritimus* et *Carex mackenziei*, auxquelles se joignent souvent *Carex paleacea* et *Spartina pectinata*.

Par ailleurs, on ne note pas de végétation de bordure particulière; les plantes qui caractérisent le marais à ce niveau s'avancent près des creux et les envahissent parfois. Outre *Spartina pectinata* et *Iris setosa*, il convient de noter la présence de *Sanguisorba canadensis*, *Prenanthes trifoliolata*, *Hierocloë odorata*, *Festuca rubra* et *Calamagrostis canadensis*. Encore plus haut dans le marais, d'autres espèces s'ajoutent telles: *Juncus balticus*, *Aster umbellatus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Eriophorum angustifolium* formant dès lors une herbaçie arbustive.

#### SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DES MARES ET DU MARAIS SALÉ

Le marais salé forme un système ouvert où les échanges énergie-matière et l'interaction de facteurs internes

et externes lui confèrent une organisation particulière. Les diverses composantes semblent étroitement inter-reliées; c'est ainsi que les mares, en tant qu'entités intégrées au marais, tiennent un rôle dynamique dans l'évolution de ce dernier.

Chaque printemps dans le marais salé de l'Isle-Verte, c'est sur l'hydrolittoral moyen, constitué essentiellement de *Spartina alterniflora*, que l'action érosive du pied de glace s'effectue. Les mares résultent soit d'un arrachement superficiel dans la partie médiane de l'hydrolittoral moyen, soit d'un arrachement plus intensif et profond dans la partie supérieure. Cette différenciation de l'érosion glacielle, qui confère aux mares des caractéristiques morphométriques diverses, est principalement liée aux variations dans les composantes du tapis végétal. Ainsi, avec un recouvrement plus important de *Spartina alterniflora* et une rhizosphère mieux développée dans la partie haute de l'hydrolittoral moyen, le pied de glace a une meilleure emprise; il devient donc très efficace dans le prélèvement de radeaux de végétation. Dès lors, l'arrachement glacielle produit des mares glacielles plus profondes aux parois verticales.

Sur la partie médiane de l'hydrolittoral moyen, l'écodynamique des mares glacielles représentée au tableau V se résume à la recolonisation rapide par *Spartina alterniflora*, particulièrement envahissante à ce niveau. À titre d'exemple, REDFIELD (1972) a mesuré des taux de colonisation par la Spartine variant entre 36 et 72 cm/an dans les marais de la Nouvelle-Angleterre. Quant aux mares glacielles situées entre 3,4 m et 4,1 m d'altitude, la recolonisation par *Spartina alterniflora* y est lente, puisqu'elles sont plus profondes et remplies d'eau. Cette pérennité toute relative des mares glacielles permet une occupation par des hydrophytes-halophytes, tels *Ruppia maritima* et de nombreuses Algues vertes. Pour désigner en anglais ces mares d'origine glacielle, nous suggérons d'adopter l'expression «ice-made pan».

Au phénomène glacielle, s'ajoute, à la limite supérieure de l'hydrolittoral moyen, une certaine érosion liée aux mouvements du va-et-vient de la marée et au ruissellement de surface; il s'ensuit une coalescence de quelques mares glacielles. Il n'est également pas exclu que certaines mares glacielles puissent évoluer selon d'autres processus de nature physico- et biochimique.

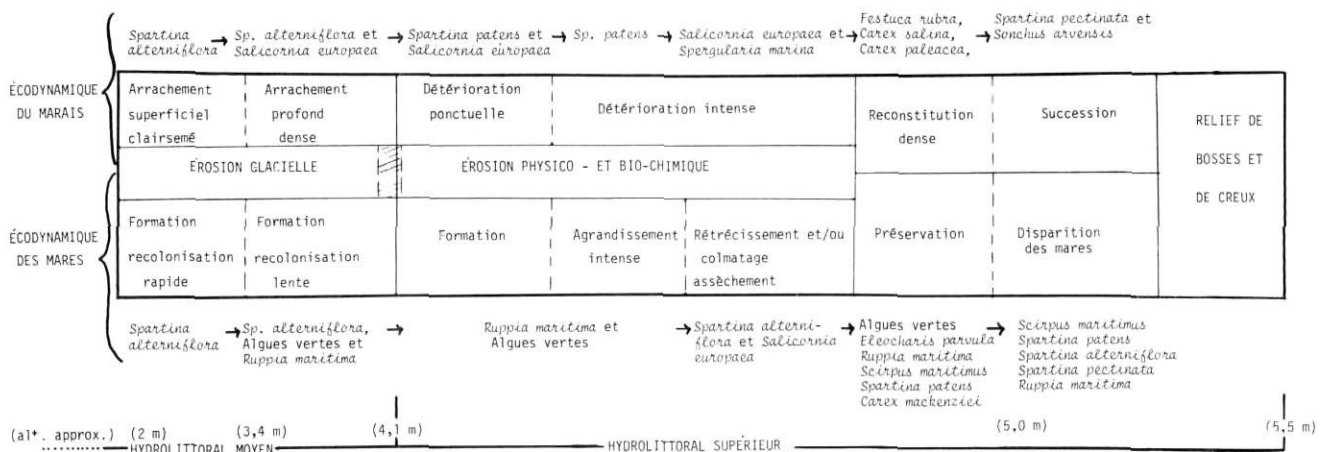
Les mares non glacielles se répartissent sur la majeure partie de l'hydrolittoral supérieur, allant du sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina patens* jusqu'au groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis* (tabl. V). Certains processus d'érosion physico-chimiques et biochimiques, encore mal connus, sont responsables de la morphogénèse des mares sur l'hydrolittoral supérieur.

Au niveau du sous-groupement à *Salicornia europaea* du groupement à *Spartina patens*, les divers agents d'érosion provoquent une détérioration ponctuelle du tapis végétal sur le pourtour des mares et entraînent la mort de *Spartina patens*, sans que d'autres espèces soient capables ou aient le temps de s'installer. Cette détérioration permet la formation de mares légèrement plus grandes et plus profondes que les mares glacielles. L'action du pied de glace n'étant plus efficace à ce niveau, les processus responsables de la détérioration du tapis végétal et de la formation des mares seraient plutôt de nature physico- et biochimique. À l'intérieur des mares, les Algues vertes sont plus diversifiées et abondantes, avec *Ruppia maritima* qui continue d'être co-dominante.

À mesure que l'on s'éloigne de l'abrupt, la détérioration du peuplement à *Spartina patens* s'intensifie. Plusieurs halophytes s'installent dans les ouvertures du tapis végétal et en bordure des mares en expansion. Ce phénomène d'extension ou d'agrandissement intense des mares, que nous relierons à des processus physico- et biochimiques, ne paraît pas exclusif aux marais salés

TABLEAU V

Évolution des mares et du marais salé de l'Isle-Verte



du Saint-Laurent. Ainsi, YAPP *et al.* (1917), en étudiant les marais salés de l'estuaire de Dovey (Angleterre), notent : "When several neighbouring pans are enlarging simultaneously, they may coalesce and combine to form one large compound pan... the size of the smallest simple pans may not exceed 1 to 3 feet in diameter, but compound pans often attain a considerable size. The largest one seen was 51 feet 6 inches (: 17,25 metres) long, by 20 feet 9 inches (: 6,25 metres) wide".

En Nouvelle-Angleterre (U.S.A.), MILLER et EGLER (1950), qualifiant les mares du niveau supérieur du marais de «*pothole*», écrivent : «*Potholes as here used are deep vertical-sided pits varying from 1-30 meters across, usually filled with standing water, composed of slimy, oozy, decomposing malodorous muck... both contraction and enlargement appear to be taking place, in some cases in the same pothole*».

GUILCHER et BERTHOIS (1957), après avoir étudié des mares sur le haut du schorre durant cinq ans, en France, concluent à leur agrandissement en ces termes : «... Les mesures faites au Conquet dans la mare proche du point F ne laissent aucun doute : cette mare est en voie d'agrandissement (augmentation de la plus grande longueur, 3 m 50 en 1951 et 3 m 67 en 1956 et de la plus grande largeur, 2 m 45 en 1951 et 2 m 87 en 1956)».

À l'intérieur des mares de ce groupement (tabl. V), on retrouve les mêmes caractéristiques floristiques qu'au groupement précédent. Ceci n'est pas sans rappeler les travaux de HARSHBERGER (1916), YAPP *et al.* (1917), CHAPMAN (1940), MILLER et EGLER (1950), NIENHUIS (1970), BLEAKNEY et MEYER (1979), WORGAN et FITZGERALD (1981) qui décrivent aussi l'abondance de *Ruppia maritima* et d'Algues vertes. Étant donné l'abondance et la distribution cosmopolite du genre *Ruppia*, le terme anglais le plus approprié pour décrire ces mares serait, à notre avis, celui de «*Ruppia pool*».

La détérioration du marais à *Spartina patens* se poursuit jusqu'à sa disparition complète en faveur de *Salicornia europaea* et *Spergularia marina* (tabl. V). Cette dislocation du tapis végétal primaire a des répercussions sur le dynamisme des mares. Ainsi, nous constatons un colmatage complet ou partiel de nombreuses mares, une nette diminution de leur profondeur et un assèchement sporadique durant l'été. Ce type d'évolution a été noté à plusieurs reprises et paraît commun à bon nombre de marais salés (HARSHBERGER, 1916; YAPP *et al.*, 1917; MILLER et EGLER, 1950; TYLER, 1969; GLOOSCHENKO, 1978). Le fond de ces mares sursalées est encore propice à l'installation d'halophytes pures comme *Spartina alterniflora* et *Salicornia europaea* (MASSART, 1907; MILLER et EGLER, 1950; REDFIELD, 1972). Nous proposons de les désigner en anglais par le terme de «*pan*» ou «*salt pan*».

La venue et le succès d'halophytes de milieux tempérés froids permettent une reconstitution dense du

tapis végétal; il est alors caractérisé par des groupements à *Festuca rubra*, à *Carex paleacea* et à *Carex salina*. Cette reconstitution affecte certes les processus d'érosion de marais qui paraissent à ce niveau de moins en moins actifs. D'une part, le comblement des mares est plus lent et d'autre part bon nombre d'entre elles sont préservées. Dans certaines mares, il y a encore des Algues vertes et *Ruppia maritima*, alors que dans celles où des conditions moins hydriques prévalent, *Scirpus maritimus*, *Spartina patens*, *Carex mackenziei*, etc. deviennent envahissants. Cette séquence s'apparente d'une certaine manière à celle des marais côtiers plus septentrionaux (NORDHAGEN, 1954; GLOOSCHENKO, 1978).

À une altitude approximative de 5 m, le groupement à *Spartina pectinata* et *Sonchus arvensis* succède normalement aux diverses communautés végétales précédentes. Plusieurs espèces envahissent les mares encore existantes et contribuent à leur disparition. Leur physiologie s'apparente ainsi aux «*forb panne*» décrites par MILLER et EGLER (1950) qui considèrent les espèces végétales, à ce niveau, comme étant les plus diversifiées de tout le marais.

Au niveau le plus élevé du marais salé (fig. 2 : unité S<sub>1</sub>), l'hydrolittoral semble soumis à une toute autre dynamique encore très mal connue qui transforme le relief en bosses et en creux. Les dépressions sont entièrement colonisées par les végétaux, à l'exception des creux mal drainés où un excédent d'eau ou de sel tue la végétation et l'empêche temporairement de s'installer.

## CONCLUSION

L'étude du marais salé de l'Isle-Verte montre qu'il existe deux types de mares, glacielles et non glacielles, bien que la communauté québécoise ne parle encore que de mares glacielles. Un premier type, d'origine glacielle est présent sur l'hydrolittoral moyen où les niveaux de marée et les diverses caractéristiques de *Spartina alterniflora* permettent un arrachement optimal lors du démantèlement printanier du pied de glace. Ces mares se forment rapidement par le seul jeu des glaces. Clairsemées et superficielles sur la partie médiane de l'hydrolittoral moyen, elles deviennent plus denses et profondes sur le haut de l'hydrolittoral moyen.

Les mares non glacielles atteignent, sur une longue période, une extension maximale au bas de l'hydrolittoral supérieur pour graduellement rétrécir et disparaître avec l'altitude. Leur évolution, qui dépend d'un ensemble de processus d'érosion physico- et biochimique, est étroitement liée à la dynamique du marais salé. Ainsi, l'agrandissement des mares non glacielles survient parallèlement à la détérioration du tapis végétal, tandis que la fermeture du marais par des halophytes de milieux tempérés froids assure un ralentissement ou une annulation des processus d'érosion en cause; un rétrécissement et une disparition plus gra-



duelle des mares s'ensuit. Les caractéristiques morphologiques et floristiques des mares non glacielles s'apparentent à celles observées par plusieurs chercheurs dans d'autres marais côtiers.

La présence de deux grands types de mares naturelles dans le marais salé de l'Isle-Verte lui confère un caractère particulier par rapport aux marais des côtes océaniques plus méridionales et même septentrionales. En effet, en l'absence du pied de glace, cette double présence de mares glacielles et non glacielles n'est plus possible au sud, tandis qu'au nord, l'absence habituelle du marais supérieur ne favorise guère la formation des mares non glacielles.

Le long du Saint-Laurent, les mares glacielles peuvent exister pratiquement sur tout son cours limnétique, saumâtre et maritime. Elles sont toutefois plus abondantes et mieux définies sur l'hydrolittoral moyen, lorsque *Spartina alterniflora* abonde, c'est-à-dire de l'île aux Oies vers l'aval. Quant aux mares non glacielles, elles sont faciles à observer sur l'hydrolittoral supérieur, en aval de La Pocatière; on suppose que des salinités dépassant 10‰ seraient en partie nécessaires à leur formation.

Pourquoi des mares non glacielles se développent-elles au bas de l'hydrolittoral supérieur? Plusieurs hypothèses ont été émises au cours du présent siècle pour en expliquer l'origine, mais aucune ne paraît identifier correctement les processus physico- et biochimiques qui occasionnent une défloculation ou une dispersion des argiles. Quel est le rôle des micro-organismes ou des acides organiques dans l'équilibre du marais salé? Quel est l'importance du calcium et du magnésium comme agents de dispersion? Voilà des sujets dont on ne connaît pratiquement rien et qui sembleraient pourtant fort utiles à la bonne compréhension de l'écologie des marais salés et de leurs mares à travers le monde.

#### REMERCIEMENTS

Le présent travail a pu être réalisé grâce à des octrois de recherches du gouvernement du Québec accordés au Dr Victorin Lavoie, et du gouvernement du Canada, accordés au Dr Michel Jurdant. La faculté d'Agriculture et d'Alimentation de l'université Laval (Québec) a assuré l'organisation matérielle. Les responsables de la Division des sols de La Pocatière, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, ont autorisé l'analyse de nos échantillons de sol. Nous remercions également M. Roland St-Louis pour son aide sur le terrain et M. Dominique Asselin, du ministère de l'Environnement du Québec, pour la réalisation des multiples figures.

#### RÉFÉRENCES

- BARBOUR, M.G., CRAIG, R.B., DRYSDALE, F.R. et GHISELIN, M.T. (1973): *Coastal ecology: Bodega Head*, Univ. California Press, Berkeley, 338 p.
- BEEFTINK, W.G. (1966): Vegetation and habitat of the salt marshes and beach plains in the South-Western part of the Netherlands, *Wentia*, 15: 83-108.
- BLEAKNEY, S. et MEYER, K.B. (1979): Observations on salt marsh pools, Minas basin, Nova Scotia 1965-1977, *Proc. N.S. Inst. Sci.*, 29: 353-371.
- BROUGH, M.C., DELHANTY, J.E. et THOMPSON, T.E. (1960/61): An ecological study of a brackishwater pool on a saltmarsh at Lamby, near Cardiff, *Trans. Cardiff Natural. Soc.*, 90: 4-19.
- CAILLEUX, A. et HAMELIN, L.-E. (1968): Périglaciaire actuel sur le littoral du Bic (Bas Saint-Laurent), *Cah. Géogr. Québec*, 23: 361-378.
- CANTIN, M. (1974): *Marais intertidaux de la région de Kamouaska*, Serv. can. faune, Env. Canada, non publ., 12 p.
- CHAMPAGNE, P. (1978): *Évolution littorale et dynamique glacielle à la Pointe d'Argentenay, île d'Orléans*, Univ. Laval, thèse de maîtrise, non publ., 124 p.
- CHAPMAN, V.J. (1940): Studies in salt marshes ecology, *Journ. of Ecology*, 28: 118-152.
- (1960): *Salt marshes and salt deserts of the world*, Leonard Hill, Londres, 392 p.
- (1977): *Wet coastal ecosystems*, Elsevier, New York, p. 1-29.
- CHAPMAN, V.J. et RONALDSON, N. (1958): *The mangrove and salt marsh flats of the Auckland isthmus*, D.S.I.R., New Zealand, n° 125, 79 p.
- CONARD, H.S. (1924): Second survey of the vegetation of the Long Island salt marsh, *Ecology*, 5: 379-388.
- CORRE, J.J. (1961): Une zone de terrains salés en bordure de l'étang de Manguio, *Bull. Serv. Carte Phytogéogr.*, 6: 105-151.
- DALLERY, F. (1955): *Les rivages de la Somme*, Mém. Soc. ém. hist. litt. d'Abbeville, A.J. Picart, Paris, 308 p.
- DIONNE, J.-C. (1968a): Action of shove ice on the tidal flats of the St. Lawrence estuary, *Marit. Sedim.*, 4: 113-115.
- (1968b): Schorre morphology on the south shore of the St. Lawrence estuary, *Amer. Journ. Sci.*, 266: 380-388.
- (1969): Érosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent, *Rev. Géogr. Montréal*, 23: 5-20.
- (1970): *Aspects morpho-sédimentologiques du glacier, en particulier des côtes du Saint-Laurent*, Min. pêches et forêts, Lab. Rech. forestière, Ste-Foy, 324 p.
- (1972): Caractéristiques des schorres des régions froides de l'estuaire du Saint-Laurent, *Zeitschrift f. Geomorph.*, N.F., Suppl. Bd. 13: 131-162.
- (1973): La notion de pied de glace (ice foot) en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent, *Cah. Géogr. Québec*, 17: 221-250.
- (1976a): Le glacier de la région de la Grande-Rivière, Québec subarctique, *Rev. Géogr. Montréal*, 30: 133-153.
- (1976b): L'action glacielle dans les schorres du littoral oriental de la baie de James, *Cah. Géogr. Québec*, 20: 303-326.
- (1978a): Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie, Québec subarctique, *Géogr. phys. Quat.*, 32: 187-247.

TABLEAU III Description floristique et morphométrique des mares et de leur pourtour à l'intérieur des groupements prédominants du marais salé, Isle-Verte

DIVISION DE L'HYDROLITTORAL	MOYEN																				SUPÉRIEUR																																																											
	SPARTINA ALTERNIFLORA					SPARTINA ALTERNIFLORA ET SALICORNIA EUROPAEA					SPARTINA PATENS ET SALICORNIA EUROPAEA					SPARTINA PATENS					SALICORNIA EUROPAEA ET SPERGLARIA MARINA					FESTUCA RUBRA, CAREX PALEACEA ET CAREX SALINA					SPARTINA PECTINATA ET SONCHUS ARVENSIS					SPARTINA PECTINATA ET IRIS SETOSA					JUNCUS BALTICUS ET SAMOLUS SORBA CAMPANENSIS																																							
PLACE ÉCHANTILLON (date)	78-1	78-2	78-3	78-4	78-5	48-1	48-2	48-3	48-4	48-5	49-1	49-2	49-3	49-4	49-5	81-1	81-2	81-3	81-4	81-5	47-1	47-2	47-3	47-4	47-5	79-1	79-2	79-3	79-4	79-5	50-1	50-2	50-3	50-4	50-5	16-1	16-2	16-3	16-4	16-5	82-1	82-2	82-3	82-4	82-5	25-1	25-2	25-3	25-4	25-5	83-1	83-2	83-3	83-4	83-5	89-1	89-2	89-3	89-4	89-5	29-1	29-2	29-3	29-4	29-5	100-1	100-2	100-3	100-4	100-5	105-1	105-2	105-3	105-4	105-5	106-1	106-2	106-3	106-4	106-5
ALTITUDE EN MILIEU INTERTIDAL (cm)	227	227	227	227	227	318	318	318	318	318	340	340	340	340	340	377	377	377	377	377	411	411	411	411	411	415	415	415	415	415	445	445	445	445	445	463	463	463	463	463	435	435	435	435	435	448	448	448	448	448	449	449	449	449	449	485	485	485	485	485	457	457	457	457	457	505	505	505	505	505	550	550	550	550	550	540	540	540	540	540
<b>Végétation</b>																																																																																
<b>Intérieur des mares</b>																																																																																
<b>Bordure extérieure des mares</b>																																																																																
<b>Radeau de végétation</b>																																																																																
<b>Morphométrie</b>																																																																																
<b>Sédiments</b>																																																																																

Notes: (X) espèce présente  
Sédiments: A, argile, A-L, argile limoneuse, Lo, loam, Lo-A, loam argileux, Lo-L, loam limoneux, Lo-L-A, loam limono-argileux, Lo-S, loam sableux, /, indéterminé (non mesurable), —, absence.

- (1978b) : Le glacier en Jamésie et en Hudsonie, Québec subarctique, *Géogr. phys. Quat.*, 32 : 3-70.
- EL-SABH, M.I. (1979) : The lower St. Lawrence estuary as a physical oceanographic system, *Naturaliste can.*, 106 : 55-73.
- FREY, R.N. et BASAN, P.B. (1978) : *Coastal salt marshes in coastal sedimentary environments*, R.A. Davis Jr. (édit.), Springer-Verlag, New York, 420 p.
- GAUTHIER, B. (1978) : Détermination de la slikke et application au benthos laurentin, Isle-Verte, Québec, *Géogr. phys. Quat.*, 32 : 333-349.
- GAUTHIER, B. et BOUDREAU, R. (1980) : Les caches : observations et essai de classification, *Québec Chasse et Pêche*, 17 : 63-66.
- GAUTHIER, B., CARDINAL, A. et HIMMELMAN, J.H. (1980) : Limites amont de distribution des algues marines benthiques dans l'estuaire du Saint-Laurent (Québec), et addition de quelques espèces à la flore de cette région, *Naturaliste can.*, 107 : 195-197.
- GUILCHER, A. et BERTHOIS, L. (1957) : Cinq années d'observations sédimentologiques dans quatre estuaires témoins de l'Ouest de la Bretagne, *Rev. Géomorph. dynamique*, 8 : 67-86.
- GLOOSCHENKO, W.A. (1978) : Above-ground biomass of vascular plants in a subarctic James Bay salt marsh, *Can. Field Naturalist*, 92 : 30-37.
- HAMELIN, L.-E. et CAILLEUX, A. (1966) : Le marais troué, forme nouvelle de marais littoral, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 262 : 540-543.
- HARANT, H. et JARRY, D. (1964) : *Guide du naturaliste dans le Midi de la France, I. La mer — le littoral*, Deluhaus et Niestlé, Neuchatel, 316 p.
- HARSHBERGER, J.W. (1909) : The vegetation of the salt marshes and the salt and fresh water ponds of Northern coastal New Jersey, *Proc. Acad. Nat. Sc. Philo.*, p. 373-400.
- (1916) : The origin and vegetation of salt marsh pools, *Amer. Philos. Soc. Proc.*, 55 : 481-484.
- JACQUET, J. (1949) : *Recherches écologiques sur le littoral de la Manche. Les prés-salés et la Spartine de Townsend, les estuaires*, La Tangue, Encycl. biogéog., t. 5, Paul Lechevalier, Paris, 374 p.
- JEFFERIES, R.L. (1977) : The vegetation of salt marshes at some coastal sites in Arctic North America, *Journ. Ecology*, 65 : 661-672.
- JEFFERIES, R.L., JENSEN, A. et ABRAHAM, K.F. (1979) : Vegetational development and the effect of geese on vegetation of La Perousse Bay, Manitoba, *Can. J. Bot.*, 57 : 1439-1450.
- JOHNSON, D.S. et YORK, H.H. (1915) : *The relation of plants to tide-levels*, Carnegie Inst. Washington, Publ., 206, 162 p.
- KERSHAW, K.A. (1975) : The vegetational zonation of the East Pen Island salt marshes, Hudson Bay, *Can. J. Bot.*, 54 : 5-13.
- LACOURSIÈRE, E. et MAIRE, A. (1976) : *Étude écologique et cartographique de la végétation du littoral de la Baie de Rupert*, S.D.B.J., Dir. Environn., non publ., 76 p.
- LAMOUREUX, J.P. et ZARNOVICAN, R. (1974) : *Les marécages côtiers de la baie aux Oies, Québec : impact du projet hydro-électrique*, Serv. Can. faune, Env. Canada, rapp. 13, non publ., 99 p.
- MACDONALD, K.B. (1977) : Plant and animal communities of Pacific North American salt marshes, in *Wet Coastal ecosystems*, Elsevier, New York, p. 167-191.
- MANSIKKANIEMI, H. (1976) : Ice action on the seashore southern Finland : observations and experiments, *Fennia*, 143 : 1-17.
- MASSART, J. (1907) : *Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique*, Lamentin, Bruxelles, 584 p.
- MILLER, W.R. et EGLER, F.E. (1950) : Vegetation of the Wequa-tequock — Pawatuck tidal marshes, Connecticut, *Ecol. Monogr.*, 20 : 143-172.
- MOLENAAR, J.G. de (1974) : Vegetation of the Angmagssalik district southeast Greenland, *Medd. Gronland*, 198 : 1-79.
- MONOD, T. (1926) : *La région de la Basse Seulle : étude biologique*, PUF, Paris, 74 p.
- NICOL, E.A.T. (1935) : The ecology of a salt-marsh, *Journ. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 20 : 203-261.
- NIENHUIS, P.H. (1970) : The benthic algal communities of flats and salt marshes in the Gravelingen, a sea-arm in the southwestern Netherlands, *Netherlands Journ. Sea Res.*, 5 : 20-49.
- NORDHAGEN, R. (1954) : Studies on the vegetation of salt and brackish marshes in Finmark (Norway), *Vegetatio*, 5 : 381-394.
- PARSONS, C.O. (1975) : Vegetation pattern in a salt marsh at Boundary Bay, British Columbia, *B.C. Lambdo*, 1 : 45-52.
- PETHICK, J.S. (1974) : The distribution of salt pans on tidal salt marshes, *Journ. Biogeography*, 1 : 57-62.
- PHLEGER, F.B. (1977) : Soils of marine marshes, in *Wet coastal ecosystems*, Elsevier, New York, p. 69-77.
- PRAT, H. (1933) : Les zones de végétation et les faciès des rivages de l'estuaire du Saint-Laurent au voisinage de Trois-Pistoles, *Naturaliste can.*, 60 : 93-136.
- RANWELL, O.S. (1972) : *Ecology of salt marshes and sand dunes*, Chapman & Hall, Londres.
- REDFIELD, A.C. (1972) : Development of a New England salt marsh, *Ecol. Monogr.*, 42 : 201-237.
- REED, A. et MOISAN, G. (1971) : The Spartina tidal marshes of the St. Lawrence estuary and their importance to aquatic birds, *Naturaliste can.*, 98 : 905-922.
- REIMOLD, R.J. (1977) : Mangals and salt marshes of Eastern United States, in *Wet Coastal ecosystems*, Elsevier, New York, p. 157-166.
- RILEY, J.L. et McKAY, S.M. (1980) : The vegetation and phytogeography of coastal southwestern James Bay, *Royal Ontario Museum*, 124 : 1-81.
- RINGIUS, G.S. (1980) : Vegetation survey of a James Bay coastal marsh, *Can. Field-Naturalist*, 94 : 110-120.
- SCHOFIELD, W.E. (1958) : The salt marsh vegetation of Churchill Manitoba, and its phytogeographic implications, *Dept. Northern aff. and National Res.*, Canada, bull. 160 : 107-132.
- SHORT, A.D. et WISEMAN, W.J. (1974) : Freeze-up processus on Arctic beaches, *Arctic*, 27 : 215-224.
- STEERS, J.A. (1948) : *The coastlines of England and Wales*, Cambridge Univ. Press, 644 p.
- (1953) : *The sea coast*, Collins, Londres, 276 p.

- TANSLEY, A.G. (1939): *The British Islands and their vegetation*, Cambridge Univ. Press, 930 p.
- TAYLOR, N. (1938): A preliminary report on the salt marsh vegetation of Long Island, *Bull. N.Y. State Museum*, 316: 21-84.
- TURMEL, J.M. (1956): Écologie des prés-salés: morphologie, circulation et salinité des eaux, *Bull. Lab. mar. Dinard*, 42: 41-49.
- (1958): Formation des mares et des ruisseaux dans les prés-salés des estuaires de l'Ouest du Cotentin, *Bull. Lab. mar. Dinard*, 13: 79-91.
- TYLER, G. (1969): Regional aspects of Baltic shore-meadow vegetation, *Vegetatio*, 19: 60-86.
- VANNEY, J.R. et DANGEARD, L. (1976): Les dépôts glacio-marins actuels et anciens, *Rev. Géogr. Montréal*, 30: 9-50.
- VAN STRAATEN, L.M.S.V. (1954): Composition and structure of recent marine sediments in Netherlands, *Leid. Geol. Meded.*, 919: 1-110.
- VERGER, F. (1968): *Marais et Wadden du littoral français: étude de géomorphologie*, Bordeaux, Biscaye et Frères, 526 p.
- WASEL, Y. (1972): *Biology of halophytes*, Academic Press, New York, 391 p.
- WARMING, E. (1904): Bidrag till vadernes, sandenes og marskens natur — historie Copenhagen, *Det Kongelige Danske Videnskab. Selsk. Skrift*, 7<sup>e</sup> ser., 2: 1-56.
- WORGAN, J.P. et FITZGERALD, G. J. (1981): Habitat segregation in a salt marsh among adult sticklebacks (Gasterosteidae), *Env. Biol. Fish.*, 6: 105-109.
- YAPP, R.H., JOHN, D. et JONES, O.T. (1917): The salt marshes of the Dovey estuary, *Journ. Ecol.*, 5: 65-103.