

Note sur les variations du niveau marin relatif à l'Holocène, à Rivière-Ouelle, côte sud du Saint-Laurent

Note on Holocene Relative Sea Level Fluctuations at Rivière-Ouelle, South Shore of the St. Lawrence, Québec

Jean-Claude Dionne

Volume 42, Number 1, 1988

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/032711ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/032711ar>

[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 note

Dionne, J.-C. (1988). Note sur les variations du niveau marin relatif à l'Holocène, à Rivière-Ouelle, côte sud du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 42(1), 83–88. <https://doi.org/10.7202/032711ar>

Article abstract

At Rivière-Ouelle, along the south shore of the middle St. Lawrence Estuary, an exposure shown in a meander escarpment provides evidence for a relative low sea level prior to 6000 year BP, followed by a 8-9 m transgression. There are three stratigraphic units: the Goldthwait Sea clay at the base is overlaid by an alluvial deposit including an estuarine and a fluvial faciès; at the surface is a fine-grained deposit composed of thinly stratified fine sand and silt. These new data corroborate those collected recently from three other localities : Rivière Boyer, Montmagny-Cap-Saint-Ignace and Saint-Fabien-sur-Mer, and permit a better understanding of the postglacial isostatic recovery of the south shore of the St. Lawrence Estuary.

Notes

NOTE SUR LES VARIATIONS DU NIVEAU MARIN RELATIF À L'HOLOCÈNE, À RIVIÈRE-OUELLE, CÔTE SUD DU SAINT-LAURENT

Jean-Claude DIONNE, Département de géographie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ À Rivière-Ouelle, sur la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, une coupe le long de la rivière révèle l'existence d'un bas niveau marin relatif antérieurement à 6000 ans BP, suivi d'une transgression de 8-9 m. On y observe trois unités distinctes : à la base, l'argile de la mer de Goldthwait taillée en une surface d'érosion ; au-dessus, une séquence alluviale comprenant deux faciès, l'un estuarien (sable fin et limon), l'autre fluviatile (sable et gravier) ; au sommet, un dépôt de zone intertidale composé de sable fin et limon stratifiés en lits minces. Ces nouvelles données corroborent celles de trois autres sites : rivière Boyer, Montmagny-Cap-Saint-Ignace et Saint-Fabien-sur-Mer, et renseignent sur les modalités du relèvement isostatique de la côte sud du Saint-Laurent.

ABSTRACT *Note on Holocene relative sea level fluctuations at Rivière-Ouelle, south shore of the St. Lawrence, Québec.* At Rivière-Ouelle, along the south shore of the middle St. Lawrence Estuary, an exposure shown in a meander escarpment provides evidence for a relative low sea level prior to 6000 year BP, followed by a 8-9 m transgression. There are three stratigraphic units : the Goldthwait Sea clay at the base is overlaid by an alluvial deposit including an estuarine and a fluvial facies ; at the surface is a fine-grained deposit composed of thinly stratified fine sand and silt. These new data corroborate those collected recently from three other localities : Rivière Boyer, Montmagny-Cap-Saint-Ignace and Saint-Fabien-sur-Mer, and permit a better understanding of the postglacial isostatic recovery of the south shore of the St. Lawrence Estuary.

INTRODUCTION

À Rivière-Ouelle, sur la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, la rivière Ouelle, dont le tracé est sinueux, entaille la terrasse de 8-9 m à plusieurs endroits, en particulier dans le coude des méandres. L'un d'eux offre une coupe intéressante permettant de reconstituer les principaux événements survenus durant une partie de l'Holocène. En raison du peu de données disponibles sur les fluctuations du niveau marin relatif et de l'émersion des terres, il est apparu utile de décrire la coupe du méandre du chemin des Écorces.

LOCALISATION ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Petite localité à l'est de La Pocatière, Rivière-Ouelle est située sur la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, à environ 135 km en aval de Québec (47°26'N, 70°01'O). La rivière Ouelle, qui y débouche, prend sa source dans les hautes terres appalachiennes, au sud. Dans son secteur aval, elle entaille une large plaine côtière, de 5 à 8 km de largeur et de 5 à 10 m d'altitude, dans laquelle elle fait librement des méandres (fig. 1). Son niveau de base étant inférieur à celui des hautes mers, elle est affectée par la marée sur plusieurs kilomètres de longueur en tenant compte des méandres. Il s'agit d'un des rares petits estuaires de la côte sud ayant, dans son cours inférieur, un débit moyen de 10 m³/sec. À

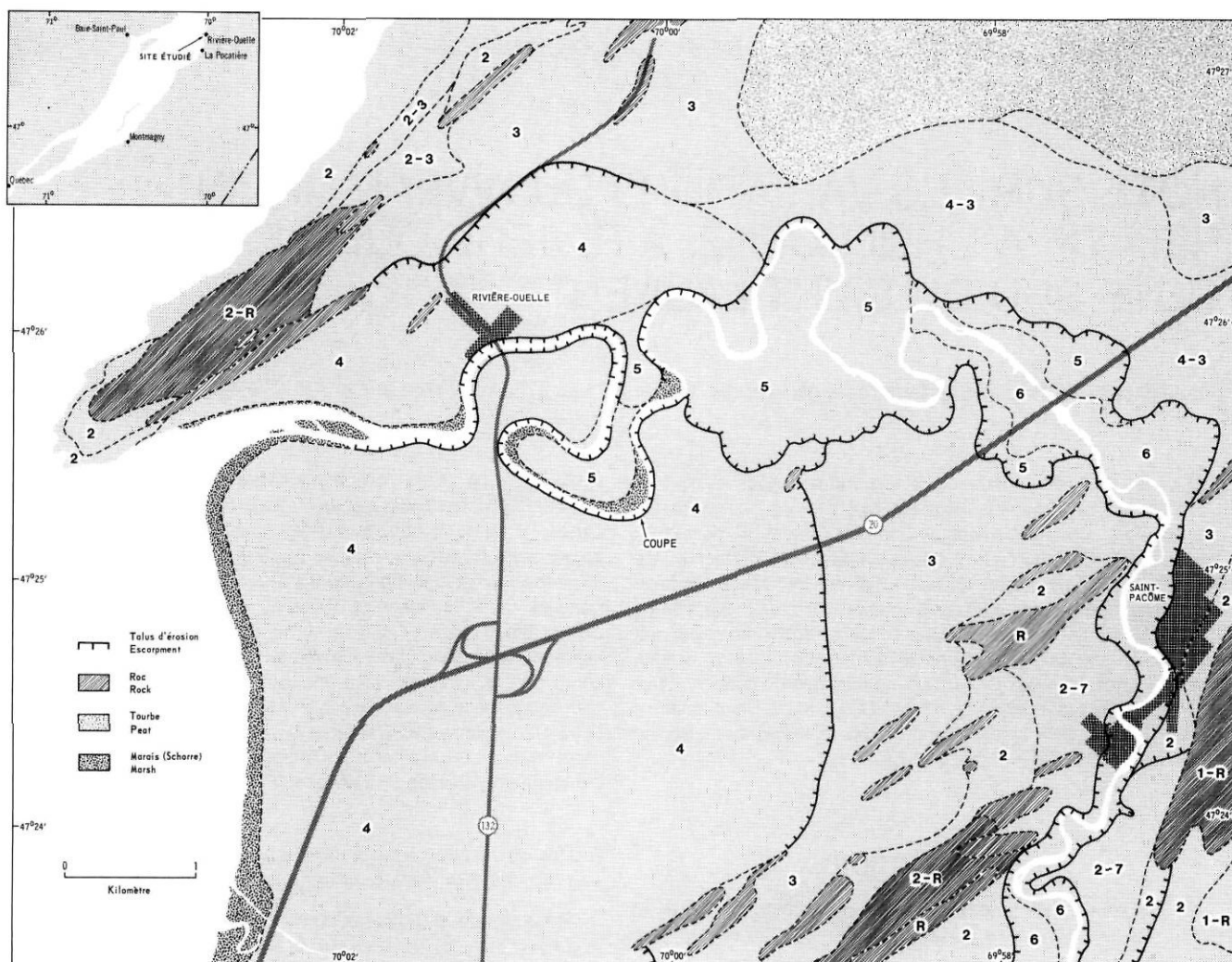
l'instar de la zone intertidale de la baie de Sainte-Anne où elle aboutit, ses rives sont vaseuses.

Par suite de la déglaciation survenue vers 12 800 – 12 600 ans BP (Chauvin *et al.* 1985), la région a été submergée par les eaux de la mer de Goldthwait, qui a atteint une altitude maximale de 160-165 m (Dionne, 1977). La mer postglaciaire a comblé les larges dépressions entre les crêtes rocheuses appalachiennes (Hubert, 1973) de dépôts fins (limon et argile) et construit ainsi de grandes terrasses à pente faible. Elle a aussi édifié, ici et là, en particulier au voisinage ou au droit des crêtes rocheuses, des plages de sable et gravier.

Bien que connu dans ses grandes lignes, le Quaternaire de la région de Rivière-Ouelle — La Pocatière demeure peu étudié (Dionne, 1967 ; Martineau *et al.*, 1977 ; Duncan, 1981). On ignore encore les étapes précises de l'émersion de la côte et du retrait de la mer de Goldthwait dans ce secteur. Le travail de Lortie et Guilbault (1984) donne cependant une idée générale valable du relèvement isostatique, du moins pour la période antérieure à 8000 ans.

COUPE DU MÉANDRE DU CHEMIN DES ÉCORCES

La coupe étudiée est localisée dans le méandre du chemin des Écorces, soit à 1,2 km au sud de la Nationale 132. À cet endroit, la rivière a érodé la rive gauche et taillé un escarpement d'environ 6 m de hauteur à même la terrasse de 9 m (fig. 2). De nombreuses observations y ont été faites depuis 1983. La figure 3 résume les trois unités observées.



Laboratoire de Cartographie, Département de Géographie, Université Laval.

FIGURE 1. Croquis géomorphologique de la région de Rivière-Ouelle. 1-R: till mince sur roc; 2: plages de la mer de Goldthwait (sable et gravier); 3: limon-argile de la mer de Goldthwait; 4: basse terrasse côtière (6-9 m), alluvions limoneuses sur argile en profondeur; 5: terrasses de méandres; 6: dépôts fluviaux récents; 7: dépôts deltaïques.

Geomorphological sketch of the area surrounding Rivière-Ouelle. 1-R: till over bedrock; 2: sand and gravel, raised beaches (Goldthwait Sea); 3: silt and clay (Goldthwait Sea); 4: low coastal terrace (6-9 m alt.), stratified silts overlying marine clay; 5: meander terraces; 6: recent fluvial deposits; 7: delta deposits.

À la base (unité 1), au niveau de la rivière à marée basse, on trouve un dépôt argileux et limoneux, fossilifère, d'âge goldthwaitien, dont l'épaisseur est inconnue, mais qui fait une cinquantaine de mètres à l'emplacement du pont de l'autoroute 20 (D'Anglejan, 1981, p. 255). L'argile limoneuse, gris pâle, est collante et peu compacte. À sa surface, on trouve des cailloux (*boulder lag*). À cet endroit, l'argile marine se trouve à quelques mètres plus bas que dans la plaine argileuse environnante, ce qui laisse croire qu'elle a été érodée par la rivière à une époque ancienne.

Au-dessus de l'argile de base, on observe une deuxième unité plus complexe, composée d'alluvions sableuses et graveleuses et contenant des bouts de bois ainsi que des lits et des inclusions de débris organiques. En fait, l'unité 2 comprend deux faciès distincts.

Le faciès inférieur (2a), qui a entre 150 et 180 cm d'épaisseur, est composé d'alluvions principalement sableuses (sable moyen à fin) avec des lits de limon et de minces couches de sable grossier et de granules. L'épaisseur des couches varie beaucoup, de 1-2 mm à quelques centimètres. La couleur gris moyen à foncé domine avec parfois des inclusions noires. On trouve des bouts de bois à plusieurs niveaux, de même que quelques minces lits de débris organiques. Ce faciès contient des valves ou individus complets de *Macoma balthica*; plusieurs sont très bien conservées (présence du périostacum). Ce faciès correspond vraisemblablement à des alluvions estuariennes.

Le deuxième faciès (2b), d'une épaisseur de 150 cm, est beaucoup plus grossier. Il est composée essentiellement de gravier petit à moyen et de sable moyen à grossier stratifiés.



FIGURE 2. Vue générale de l'escarpement du méandre du chemin des Écorces.

A general view of the meander escarpment studied, at Rivière-Ouelle.

RIVIÈRE OUELLE : méandre du chemin des Écorces

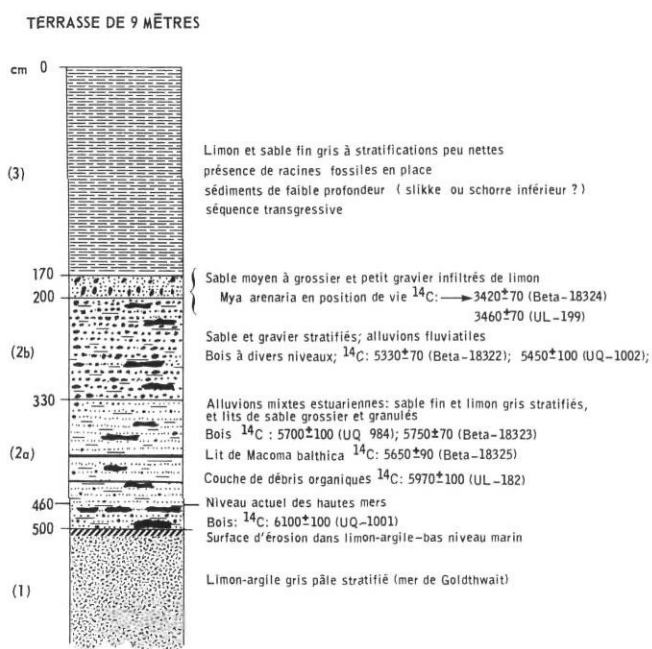


FIGURE 3. Coupe stratigraphique du méandre du chemin des Écorces.

Lithostratigraphy of the 9-m terrace at Rivière-Ouelle, showing the three main units.

Le matériel, de couleur grise à brun pâle, est oxydé par endroits et relativement compact. On y trouve quelques troncs d'arbres et plusieurs bouts de bois à divers niveaux (fig. 4). Les 30 derniers centimètres sont composés de sable moyen et de petit gravier infiltrés de limon. Le tout est oxydé et relativement compact; il y a des valves de *Mya arenaria* dont plusieurs individus complets en position de vie (fig. 5).

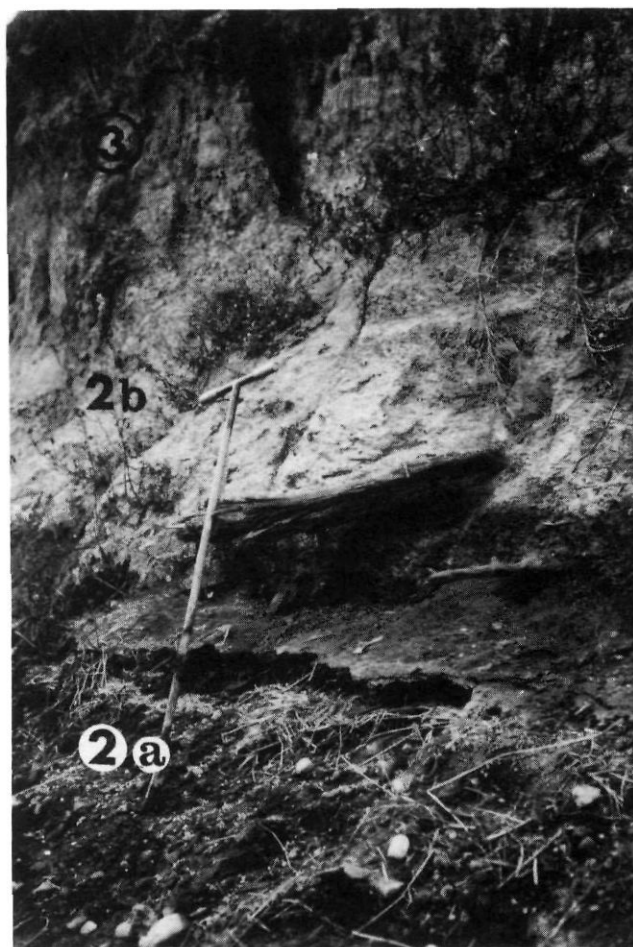


FIGURE 4. Vue des unités 2 et 3 de la coupe du méandre du chemin des Écorces montrant un tronc d'arbre en place (unité 2b).

A view of units 2 and 3 in the exposure of the meander escarpment, showing in situ tree trunk (unit 2b).

L'épaisseur des deux faciès varie latéralement. Ainsi, vers l'amont, le faciès 2a s'épaissit progressivement, alors que vers l'aval, c'est le faciès 2b qui s'épaissit. Il s'agit d'un phénomène normal dans les terrasses de méandre (Dionne, 1985).

Au sommet, l'unité supérieure (unité 3) fait entre 175 et 200 cm d'épaisseur. Elle est composée de sable fin et de limon gris pâle, stratifiés en lits minces (quelques millimètres). Le dépôt est assez homogène de la base au sommet. On y a pas trouvé de bouts de bois ni de lits de matière organique ni de fossiles (coquillage). Par contre, on a observé par endroits des débris de racines fossiles en place¹ (fig. 6), ce qui suppose un faciès de schorre inférieur.

Les trois bouts de bois de l'unité 2 identifiés correspondent aux espèces suivantes: *Abies balsamea*, *Pinus strobus* et *Populus* sp.

1. Un échantillon examiné par Alayn Larouche (Laboratoire de paléobiogéographie, Université de Montréal) a révélé la présence, entre autres, de graines de *Scirpus americanus* et de *Zizania aquatica*. Les racines n'ont pu être identifiées.

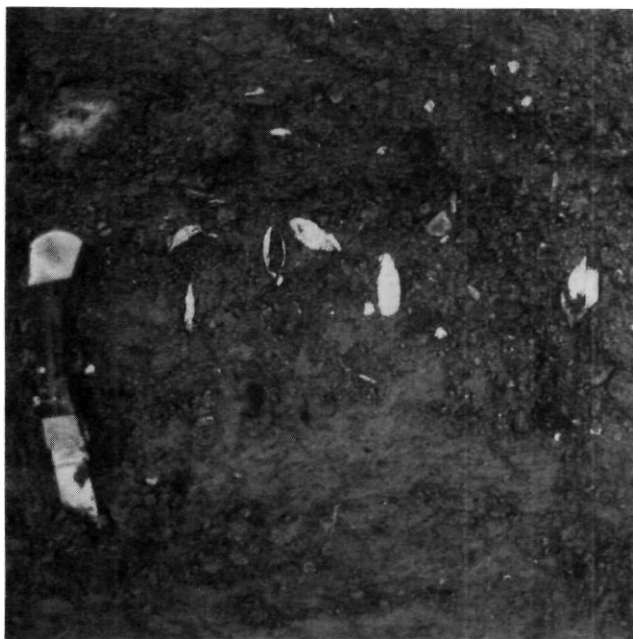


FIGURE 5. Détail de la partie supérieure de l'unité 2b montrant des *Mya arenaria* en position de vie.

*Details of the upper part of unit 2b showing *Mya arenaria* in growth position.*



FIGURE 6. Détail de l'unité 3 montrant des racines de plantes fossiles en place.

Details of unit 3 showing remains of in situ plant roots.

DATATIONS AU ^{14}C

Plusieurs datations au ^{14}C ont été obtenues sur des bouts de bois ou troncs d'arbres et sur des coquillages dans l'unité 2. Un morceau de bois juste au-dessus de la surface argileuse érodée a donné un âge de 6100 ± 100 BP (UQ-1001); deux autres dans le faciès 2a ont donné des âges respectifs de 5700 ± 100 (UQ-984) et 5750 ± 70 BP (Beta-18323), alors qu'une mince couche de débris organique a été datée de 5970 ± 100 (UL-182). De plus, un âge de 5650 ± 90 BP (Beta-18325) a été obtenu sur des *Macoma balthica*.

Dans le faciès 2b, deux bouts de bois ont donné des âges respectifs de 5450 ± 100 (UQ-1002) et 5330 ± 70 (Beta-18322). Les *Mya arenaria* en position de vie, au sommet de l'unité 2, ont donné des âges de 3460 ± 70 BP (UL-199) et 3420 ± 70 (Beta-18324).

INTERPRÉTATION

La coupe du méandre du chemin des Écorces se révèle intéressante et particulièrement importante pour la compréhension des événements survenus dans l'estuaire du Saint-Laurent au cours d'une partie de l'Holocène, notamment pour les fluctuations du niveau de base, à savoir le niveau marin relatif.

L'unité 1 ne pose pas de problème d'interprétation. Il s'agit bien d'un dépôt limono-argileux de la mer de Goldthwait, datant probablement de plus de 10 000 ans BP en comparaison avec d'autres sites semblables plus en amont (Montmagny et rivière Boyer). L'élément important à souligner ici est le fait que ce dépôt a été érodé antérieurement à 6000 ans BP.

Le couloir ou la vallée creusée par la rivière Ouelle implique forcément un niveau de base au moins équivalent au niveau actuel. D'après les courbes de relèvement isostatique de la rive sud (Locat, 1977; Lortie et Guilbault, 1984), vers 6000 ans BP, le niveau marin aurait dû être environ 10 à 15 m plus haut qu'actuellement. Dans ce cas, la rivière Ouelle n'aurait pas pu entailler la plaine argileuse de la mer de Goldthwait (8-10 m d'altitude) jusqu'au niveau de 4 à 4,5 m par rapport au zéro géodésique actuel. L'encaissement de la rivière a été rendu possible précisément en raison de l'existence d'un bas niveau marin relatif dans l'estuaire du Saint-Laurent, un fait mis en évidence dans trois autres sites de la rive sud (Dionne, 1985, 1987, 1988; Dionne et Lacombe, 1984). La coupe de la rivière Ouelle vient donc confirmer les données des autres sites connus. Malheureusement, à cet endroit, on ne peut déterminer avec exactitude la cote minimale atteinte par le bas niveau marin avant 6000 ans. On peut affirmer, cependant, que le bas niveau marin était au moins équivalent au niveau actuel. Par ailleurs, la surface d'érosion mise en évidence dans la baie de Sainte-Anne (D'Anglejan, 1981) serait liée à ce bas niveau d'âge holocène. Compte tenu qu'à Montmagny le bas niveau marin était au moins 5 m plus bas que le niveau actuel, on peut penser, sans pour autant en être certain, qu'il en fut de même à Rivière-Ouelle, ce qui expliquerait l'encaissement de la rivière dans la zone intertidale et son remblayage subséquent (D'Anglejan, 1981).

L'existence d'un bas niveau marin dans l'estuaire du Saint-Laurent, à l'Holocène moyen, explique sans doute le *hiatus* constaté par Hillaire-Marcel et Occhietti (1977) dans la répartition des dates au ^{14}C sur les mollusques fossiles de la mer de Goldthwait entre 8000 and 2500 ans BP.

En conséquence, on doit admettre que le relèvement isostatique de la rive sud, dans le secteur étudié, a été très rapide (Elson, 1969), puisque vers 6000 ans BP le niveau de la mer était au moins équivalent au niveau actuel. Un tel comportement de la croûte terrestre semble de plus en plus accepté par les quaternaristes. D'après des travaux récents, il en aurait été de même au Spitsberg (Héquette et Mann, 1986; Forman *et al.*, 1987) et en Islande (Bodéré, 1985).

Après le bas niveau d'avant 6000 ans BP, la mer a commencé à remonter, probablement en raison de la subsidence de la côte liée à la submersion postglaciaire des plates-formes continentales (Bloom, 1967). Le faciès fin de l'unité 2 caractérise la première phase de la remontée du niveau marin relatif. À ce moment, le couloir creusé par la rivière Ouelle dans la plaine argilo-limoneuse est devenu un milieu estuarien. Les alluvions fines sablo-limoneuses ont été mises en place à ce moment. Un peu plus tard, la rivière s'est déplacée latéralement par migration de méandre. C'est alors que le faciès 2b sablo-graveleux a été mis en place. Finalement, le niveau marin s'est élevé davantage et a recouvert, dans un premier temps, les alluvions sablo-graveleuses fluviales. Les myes se sont installées sur ce substrat grossier (sommet de l'unité 2) servant alors de zone intertidale. D'après les âges ^{14}C obtenus, l'événement daterait d'environ 3400 ans BP.

L'unité 3, en surface, qu'on retrouve aussi à Montmagny, à Cap-Saint-Ignace et à l'embouchure de la rivière Boyer, correspond à une phase de transgression d'une amplitude de 8-9 m. La séquence représenterait un milieu intertidal (slikke) et probablement aussi le schorre inférieur à un moment donné, vu la présence de racines de plantes fossiles, en place, dans cette unité.

Somme toute, la coupe de la rivière Ouelle confirme les deux grands événements géologiques survenus dans l'estuaire du Saint-Laurent au cours de l'Holocène, à savoir l'existence d'un bas niveau marin antérieurement à 6000 ans BP, d'une part, et une transgression de 8-9 m d'amplitude après 6000 ans BP, d'autre part. La coupe de Rivière-Ouelle ne permet pas malheureusement de préciser la durée de la transgression marine ni de fixer le début de la régression ayant conduit au niveau marin actuel. Elle rappelle, toutefois, les coupes de l'embouchure de la rivière Boyer déjà décrites (Dionne, 1985). Les deux sites sont, en effet, dans un contexte géologique similaire, à savoir une vallée taillée dans l'argile de la mer de Goldthwait, puis par la suite remblayée par une rivière à méandres, avant d'être submergée par les eaux du Saint-Laurent d'alors.

Un seul point pose problème. C'est l'âge obtenu sur les *Mya arenaria* en position de vie au sommet de l'unité 2, c'est-à-dire juste avant la phase principale de la transgression. En comparaison avec le site de Montmagny, qui constitue la coupe type de référence pour les fluctuations du niveau marin relatif dans l'estuaire, à l'Holocène, les dates obtenues seraient environ 1000 ans trop jeunes.

Dans l'état actuel des connaissances, cette différence reste difficile à expliquer. Comme la couche sablo-graveleuse et les myes en position de vie étaient oxydées, on peut penser

à l'existence d'une nappe d'eau à ce niveau, qui aurait pu rajeunir les âges isotopiques. Quoi qu'il en soit, la coupe de la rivière Ouelle corrobore l'existence d'un bas niveau marin relatif dans l'estuaire avant 6000 ans BP, suivi d'une transgression d'une amplitude relative de 8 à 9 m. Elle renseigne aussi utilement sur les étapes et les modalités du relèvement isostatique (Elson, 1969; Locat, 1977).

Il est difficile pour l'instant de rattacher les variations du niveau marin relatif dans l'estuaire du Saint-Laurent avec les événements survenus ailleurs dans le monde, en particulier sur des côtes non soumises au relèvement isostatique postglaciaire et, en conséquence, influencées uniquement par le niveau eustatique des océans ou par des phénomènes tectoniques. Bien que la transgression de 8-9 m dans le Saint-Laurent estuarien coïncide avec une remontée du niveau marin ailleurs dans le Monde (Fairbridge, 1961; Möller, 1976; Tooley, 1974), en particulier au Brésil (Martin *et al.* 1985), elle ne constitue pas pour autant une preuve incontestable d'une fluctuation eustatique généralisée. Il faudrait d'abord départager la part des facteurs locaux (isostasie et subsidence) de celle des facteurs mondiaux (Mörner, 1984).

REMERCIEMENTS

Cette contribution s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche subventionné par le ministère de l'Éducation du Québec (programme FCAR). Les étudiants suivants du Département de géographie ont fourni une aide précieuse sur le terrain: Denis Bellavance, Jean Lavoie, Stefan Poitras et André Robitaille. Les figures ont été dessinées au Laboratoire de cartographie du Département de géographie, à l'Université Laval.

RÉFÉRENCES

- Bloom, A. L., 1967. Pleistocene shorelines: a new test of isostasy. *Geological Society of America Bulletin*, 78: 1477-1494.
- Bodéré, J.-C., 1985. La région côtière sud-est de l'Islande. Recherches géomorphologiques. Brest, Université de Bretagne occidentale, section géographie, thèse de doctorat, 3 vol., 1827 p.
- Chauvin, L., Martineau, G. et LaSalle, P., 1985. Deglaciation of the lower St. Lawrence region, Quebec, p. 111-123. In H. W. Borns *et al.*, édit., Late Pleistocene History of Northeastern New England and adjacent Quebec. Geological Society of America, Special Paper 197.
- D'anglejan, B., 1981. Évolution postglaciaire et sédiments récents de la plate-forme infra-littorale, baie de Sainte-Anne, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35: 253-260.
- Dionne, J.-C., 1967. Carte morphosédimentologique de la région de La Pocatière (21-M/8E). Québec, Environnement Canada, Direction des Terres, SEER (échelle: 1/50 000).
- 1977. La mer de Goldthwait au Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 31: 61-80.
- 1985. Observations sur le Quaternaire de la rivière Boyer, côte sud du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 39: 35-46.

- 1987. Évidence d'un bas niveau marin durant l'Holocène à Saint-Fabien-sur-Mer, estuaire maritime du Saint-Laurent. *Noroirs*, 34 (sous presse).
- 1988. Holocene relative sea level fluctuations in the St. Lawrence Estuary, Québec, Canada. *Quaternary Research*, 29 (sous presse).
- Dionne, J.-C. et Lacombe, J., 1984. Fluctuations du niveau marin dans l'estuaire du Saint-Laurent, au cours de l'Holocène. 5^e Congrès de l'AQQUA, Programme et Résumés, p. 26.
- Duncan, M. 1981. La genèse géomorphologique de Kamouraska nord-ouest. Thèse de maîtrise, Québec, Université Laval, 140 p.
- Elson, J. A., 1969. Late Quaternary submergence of Quebec. *Revue de géographie de Montréal*, 23: 247-258.
- Fairbridge, R. W., 1961. Eustatic changes in sea level, p. 99-185. *In* *Physics and Chemistry of the Earth*, Pergamon, New York, vol. 4.
- Forman, S. L., Mann, D. H. et Miller, G. H., 1987. Late Weichselian and Holocene relative sea-level history of Bröggerhalvöya, Spitsberg. *Quaternary Research*, 27: 41-50.
- Héquette, A. et Mann, D. H., 1986. Des figurations périglaciaires immergées, preuve d'une transgression marine ayant succédé à l'émersion postglaciaire au Spitsberg nord-occidental (Svalbard). Le cas de la péninsule de Brögger. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, sér. 2, 303: 1237-1240.
- Hillaire-Marcel, C. et Occhietti, S., 1977. Fréquence des datations au ¹⁴C des faunes marines postglaciaires de l'Est du Canada et variations paléoclimatiques. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 21: 17-54.
- Hubert, C., 1973. Région de Kamouraska, La Pocatière — Saint-Jean-Port-Joli. Québec, min. des Richesses naturelles, rapport géologique n° 151, 204 p.
- Locat, J., 1977. L'émersion des terres dans la région de Baie-des-Sables-Trois-Pistoles, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 31: 297-306.
- Lortie, G. et Guilbault, J.-P. Les diatomées et les foraminifères de sédiments marins postglaciaires du Bas-Saint-Laurent (Québec). *Naturaliste canadien*, 11: 297-310.
- Martin, L., Flexor, J. M., Blitzkcw, D. et Suguio, K., 1985. Geoid change indications along the Brazilian coast during the last 7000 years, p. 85-90. *In* *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress (Tahiti)*, vol. 3.
- Martineau, G., 1977. Géologie des dépôts meubles de la région de Kamouraska — Rivière-du-Loup. Québec, min. des Richesses naturelles, rapport DPV-545, 17 p. (échelle: 1/100 000).
- Mörner, N.-A., 1976. Eustatic changes during the last 8000 years in view of radiocarbon calibration and new information from the Kattegatt region and other northwestern European coastal areas. *Paleo*, 19: 63-85.
- 1984. Differential Holocene sea level changes over the Globe (evidence for glacial eustasy, geoidal eustasy, and crustal movements). *Litoralia*, 1: 83-86.
- Tooley, M., 1974. Sea-level changes during the last 9000 years in northwest England. *Geographical Journal*, 140: 18-42.