

Étude dendrochronologique de l'érosion associée aux crues du  
Saint-Laurent, Saint-Antoine-de-Tilly, Québec

Dendrochronological Study of Shore Erosion Features  
Associated with St. Lawrence River Floods,  
Saint-Antoine-de-Tilly, Québec

Mithilfe der Dendrochronologie wurden die Phasen der  
Littoralaktivität eines Standortes am Südufer des  
St-Lorenz-Stromes untersucht

Marc Desrosiers and Yves Bégin

Volume 46, Number 2, 1992

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/032901ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/032901ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (print)

1492-143X (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Desrosiers, M. & Bégin, Y. (1992). Étude dendrochronologique de l'érosion associée aux crues du Saint-Laurent, Saint-Antoine-de-Tilly, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 46(2), 173-180. <https://doi.org/10.7202/032901ar>

Article abstract

Phases of shoreline changes on a site located along the south shore of the St. Lawrence River were studied by means of dendrochronology. Analysis of the dates of formation of reaction wood among destabilized trees at the base of a wooded backshore yielded a time-space framework for erosion phases related to extreme flood events. Two high-water periods were depicted: the 1920s and 1970s, while a regression of forest margins occurred in response to increasing geomorphic activity on the upper shore. Relatively low-level stages in the 1910s, and during the 1930-1950 period, favoured forest colonization of the upper beach sediments. Since the 1970s, there has been a noticeable rise in the frequency and magnitude of floods. Winter floods are now frequent due to changes in pluvio-thermal regimes and man-made flood controls works in the Great Lakes and on affluents. As a result of increasing cold-season flood activity, shore susceptibility to drift ice action intensifies.

# ÉTUDE DENDROCHRONOLOGIQUE DE L'ÉROSION ASSOCIÉE AUX CRUES DU SAINT-LAURENT, SAINT-ANTOINE-DE-TILLY, QUÉBEC

Marc DESROSIERS et Yves BÉGIN, Département de géographie et Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

**RÉSUMÉ** Les phases d'activité littorale dans un site de la rive sud du Saint-Laurent ont été étudiées à l'aide de la dendrochronologie. L'analyse des dates de formation de bois de réaction chez les arbres déstabilisés sous l'effet de décrochements mineurs survenus au pied des versants forestiers a permis d'établir le cadre spatio-temporel de la reprise d'érosion associée aux débordements récents du fleuve. Deux périodes de hauts niveaux de l'eau semblent avoir particulièrement marqué l'évolution des rives, les décennies 1920 et 1970, au cours desquelles une régression des franges forestières se serait produite en raison d'une érosion accrue. Lors des périodes intercalaires de bas niveaux, soit autour de la décennie 1910 et de 1930 à 1950, la forêt se serait rapprochée du fleuve en colonisant les sédiments de plage. Depuis 1970, l'amplitude et la fréquence des débordements ont considérablement augmenté. Ce changement de régime du fleuve implique de fréquents débordements d'hiver associés aux variations des conditions pluvio-thermiques, aux ouvrages de rétention des grands lacs et au contrôle de débit par des barrages. Les débordements hivernaux contribuent à favoriser une forte activité glaciaire sur le littoral.

**ABSTRACT** *Dendrochronological study of shore erosion features associated with St. Lawrence River floods, Saint-Antoine-de-Tilly, Québec.* Phases of shoreline changes on a site located along the south shore of the St. Lawrence River were studied by means of dendrochronology. Analysis of the dates of formation of reaction wood among destabilized trees at the base of a wooded backshore yielded a time-space framework for erosion phases related to extreme flood events. Two high-water periods were depicted: the 1920s and 1970s, while a regression of forest margins occurred in response to increasing geomorphic activity on the upper shore. Relatively low-level stages in the 1910s, and during the 1930-1950 period, favoured forest colonization of the upper beach sediments. Since the 1970s, there has been a noticeable rise in the frequency and magnitude of floods. Winter floods are now frequent due to changes in pluvio-thermal regimes and man-made flood controls works in the Great Lakes and on affluents. As a result of increasing cold-season flood activity, shore susceptibility to drift ice action intensifies.

**ZUSAMMENFASSUNG** *Mithilfe der Dendrochronologie wurden die Phasen der Littoralaktivität eines Standortes am Südufer des St.-Lorenz-Stromes untersucht.* Analyse und Datierung des Reaktionsholzes, was die Holzpflanzen unter Einfluß geringfügiger Substratablösungen am Hangfuß gebildet haben, sowie des Wachstumsrückgangs infolge des Rückversatzes eines Kleinabhanges in den Sedimenten eines früheren Strandes erleben, den zeitlichen und räumlichen Rahmen der gegenwärtigen Erosion durch den St.-Lorenz zu ermitteln. Drei Hochwasserperioden scheinen die Uferentwicklung entscheidend beeinflusst zu haben: Demnach zeige sich ein Rückschritt der Waldvegetation infolge starker geomorphologischer Aktivität für die achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts sowie für die zwanziger und die siebziger Jahre dieses Jahrhunderts. Während der Zwischenphasen mit niedrigeren Wasserständen um die Jahre, 1930 und 1950 und gegen Ende der sechziger Jahre scheint die Waldvegetation mehr in Uferichtung vorgedrungen zu sein und die Sedimente der Reliktstrände besiedelt zu haben. Seit 1970 und besonders im Laufe der siebziger Jahre nahmen Amplitude und Frequenz der Wasserüberläufe beträchtlich zu. Die hohen Wasserstände im Winter sind jetzt häufiger aufgrund von Niederschlags- und Temperaturveränderungen sowie wegen anthropogener Eingriffe und Hochwasser-Kontrollmethoden. Diese winterlichen Erscheinungen bedingen einen verstärkten Einfluß des Flußeises auf die Uferdynamik.

## INTRODUCTION

Les rives du haut estuaire du Saint-Laurent sont érodées en maints endroits entre le lac Saint-Pierre et Québec. Depuis quelques décennies, on observe le recul des micro-falaises bordant le marais supérieur (Dionne, 1986), la transgression des plages sur les franges de végétation ligneuse (Bégin, 1990), la régression des bordures forestières (Bégin et Lavoie, 1988), le recul des falaises (Côté, 1989) et la détérioration des infrastructures de protection sous l'effet des vagues, des courants et des poussées glacielles (Ouellet et Baird, 1978; Panasuk, 1987). Il semble que le régime de crue du fleuve ait changé et ne permette plus aux arbres de s'établir près de la rive. En effet, les arbres déchaussés aux formes irrégulières sont fréquents. Les nombreuses cicatrices glacielles, les branches brisées, les arbres morts et les rejets de souche, les troncs courbés, penchés ou couchés au sol caractérisent maintenant la marge forestière. Dans ce contexte dynamique, nous avons cherché à vérifier s'il existe un synchronisme entre les perturbations affectant les arbres riverains et le régime de crue du fleuve au cours des dernières décennies. Cette étude porte sur l'analyse dendrochronologique des phases d'activité littorale et leur lien avec les périodes de crue enregistrées à l'aide d'instruments, depuis le début du siècle.

Plusieurs auteurs ont cherché à retracer des perturbations naturelles à l'aide de la dendrochronologie. Les travaux de Shroder (1978) et Bégin et Filion (1985 et 1987) sur le dynamisme des versants et de Sigafoos (1964), Alestalo (1971), Payette (1980), Hupp (1988) et Bégin et Payette (1988) sur l'évolution des rives fournissent des exemples d'application de la dendrochronologie à des fins de reconstitution de processus géomorphologiques. L'analyse dendrogéomorphologique utilise les arbres comme marqueurs spatio-temporels pour la reconstitution des perturbations ayant affecté leur apparence externe ou leur croissance radiale annuelle depuis leur établissement. Les perturbations peuvent avoir un effet mécanique sur la structure de l'arbre et laisser des marques visibles (ex: traces d'abrasion glacielle conduisant à la formation de cicatrices, branches brisées) ou un effet indirect sur son métabolisme en modifiant son milieu de croissance (ex: déchaussement des racines, immersion à un moment stratégique de l'année). Tout événement important laisse une trace percep-

tible dans la forme de croissance de l'arbre (ex: présence de rejets de souche, tronc penché, courbé, cicatrisé, couché au sol,...) ou cachée dans ses cernes annuels (ex: faible accroissement annuel du xylème, changement dans les structures anatomiques du bois). L'étude de ces anomalies de croissance permet de retracer les transformations du milieu riverain là où seules des méthodes moins précises, telles que la comparaison de photographies prises à différentes dates ou le repérage de traceurs sédimentologiques, auraient permis d'évaluer approximativement les changements de l'habitat. La présente étude a pour but de déterminer la part relative des hauts niveaux d'eau dans les changements ayant affecté récemment une bande forestière riveraine particulièrement perturbée sur la rive sud du haut estuaire du Saint-Laurent.

## DESCRIPTION DU SECTEUR ÉTUDIÉ

L'étude a été menée sur la rive sud du Saint-Laurent à Saint-Antoine-de-Tilly (46°40'N, 71°33'W) à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Québec (fig. 1). Le rivage étudié est caractérisé à cet endroit par une falaise d'une hauteur d'environ 30 m, entièrement couverte par la forêt (fig. 7). Le pied de la falaise subit maintenant l'action des vagues, des courants et des glaces. Ces perturbations affectent par le fait même les arbres qui se sont établis sur la rive lors de périodes d'activité littorale moins intense. Les arbres occupent l'emplacement d'une plate-forme correspondant au niveau Micmac (Dionne, 1963) au devant de la falaise. La falaise et la plate-forme sont composées de grès quartzitiques et lithiques et de schistes rouges datant du Cambrien, plissés et faillés à l'Ordovicien lors de l'orogénèse appalachienne (St-Julien, 1973). Les roches très faillées et diaclasées sont fortement inclinées (pendage de 50°) et leur direction est parallèle au rivage, ce qui facilite l'érosion de la plate-forme et du versant. La falaise est entaillée à plusieurs endroits par de petits cours d'eau. Le matériel prélevé par le ravinement est acheminé rapidement sur le littoral où s'accumulent plusieurs petits cônes alluviaux dont le rayon varie de quelques mètres à une soixantaine de mètres. Une redistribution du matériel au pied de la falaise permet aussi la formation d'une plage, qui, lors des périodes de faible activité littorale, fournit un substrat favorable à l'expansion de la forêt sur la rive. Cette plage est parsemée de blocs glaciels, concentrés surtout sur les pointes. La plage, dont la largeur varie de 5 à 20 m, est bordée d'un marais intertidal dont la largeur peut atteindre plus de 1 km à marée basse. Une bande caillouteuse de 0,5 à 1,5 m de largeur sert de transition entre la plage et le marais. Enfin, on trouve en aval du site d'étude (200 m) un mince lambeau de la terrasse Métis édiflée vers 2000 à 3000 ans BP (Dionne, 1977; Messely, 1983).

Les données sur le régime hydrographique du fleuve viennent de la station marégraphique de Neuville située sur la rive opposée. La marée est de type semi-diurne avec une amplitude de 3,7 m aux marées moyennes et de 4,7 m en période de vive-eau. Lors des pleines mers supérieures, la marée moyenne atteint 4,3 m d'amplitude et 6,9 m aux grandes marées. Le niveau annuel moyen de l'eau est de 1,13 m au-dessus du zéro marégraphique (moyenne des enregistrements horaires des marées de 1961 à 1990). En plus de variations journalières et mensuelles du niveau de l'eau, le fleuve

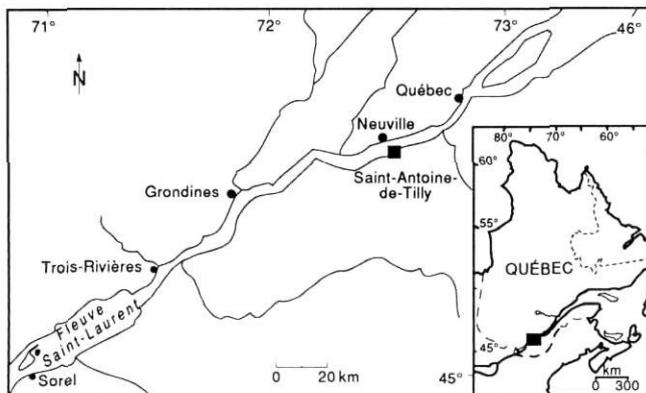


FIGURE 1. Localisation du site étudié.

Location of study site.

est affecté par des fluctuations saisonnières importantes. Au printemps (avril-mai), le niveau moyen peut atteindre 0,85 m de plus qu'en été à l'étiage, c'est-à-dire de juillet à octobre, avec un minimum à la fin d'août (Pelletier, 1982). Le courant de flot au milieu du fleuve atteint 1,34 m/s et 2,00 m/s au jusant. L'écart est dû au courant fluvial qui s'additionne au jusant (Messely, 1983). Selon Gauthier (1977), il s'agit de la section lothique du fleuve, c'est-à-dire eau douce avec marée. La zone intertidale n'est recouverte de glace en moyenne que quatre mois pendant l'année. L'englacement se fait généralement en une nuit entre la mi-novembre et la mi-décembre, pour se poursuivre jusqu'en mars. Le schorre va être totalement recouvert de glace alors que la slikke va l'être rarement en raison de l'activité des brise-glaces. L'action des glaces sur le littoral a pour effet de remodeler la surface de l'estran, de déplacer de grandes quantités de sédiments, de niveler la plate-forme littorale, de maintenir le pied des falaises vives libre de gélifracts, de déterminer le faciès des sédiments littoraux par l'apport de matériel grossier et aussi de relocaliser les blocs glaciels (Dionne, 1968ab, 1969, 1970, 1981ab; Messely, 1983).

La végétation forestière de la région à l'étude appartient au domaine de l'érablière laurentienne (Grandtner, 1966). Les espèces arborescentes les plus fréquentes sur le littoral sont *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Ulmus americana* L., *Acer saccharum* Marsh., *Populus deltoides* Bartr., *P. balsamifera* L. et *P. tremuloides* Michx. Les milieux plus humides, telle que la marge des cônes alluviaux, sont plutôt propices à l'établissement d'espèces hygrophiles s'installant en abondance par graine sur des substrats instables comme *Salix alba* L. et *Alnus rugosa* (Du Roi) Spreng. On trouve aussi à l'occasion *Thuja occidentalis* L., *Fraxinus americana* L., *Acer saccharinum* L. et *Tsuga canadensis* (L.) Carr., et des arbrisseaux et des arbustes, tels *Acer spicatum* Lam., *Salix discolor* Mühl., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. et *Cornus stolonifera* Michx. et *C. rugosa* Lam. La plage marque la limite entre la bordure forestière et le marais. Ce dernier est composé principalement de *Scirpus americanus* Pers. et, en importance moindre, de *Sagittaria latifolia* Willd. et de *Spartina alterniflora* Loisel (Gauthier, 1982).

## MÉTHODES

Le site de Saint-Antoine-de-Tilly a été choisi en raison de l'abondance des arbres déstabilisés par l'activité littorale. Les formes de terrain associées aux hauts niveaux d'eau récents du fleuve ont été cartographiées à grande échelle (1/1000) sur 1,2 km de rive. Dans le but de dater les phases récentes d'activité littorale, trois aspects ont été considérés: (1) la structure d'âge des populations ligneuses des plages reliques, (2) la croissance des arbres présentant des anomalies morphologiques et (3) la chronologie des niveaux de crue du fleuve.

Les plantes ligneuses occupant un lambeau de plage relique situé à 1 m au-dessus de la plage actuelle, ont été échantillonnées à l'intérieur de trois quadrats contigus d'une superficie totale de 1200 m<sup>2</sup>. Les arbres de plus de 5 cm de diamètre ont été carottés près du collet à l'aide d'une sonde de Pressler, soit à moins de 30 cm du sol, et les gaules et les plantules ont été sélectionnées et rapportées en laboratoire afin de déterminer leur âge par le dénombrement des cernes

annuels de croissance. L'âge de tous les rejets attachés à la base du tronc principal des arbres a aussi été précisé.

Les troncs courbés occupant le front d'accumulation ou la marge de niches de décrochement donnant directement sur la rive ont été carottés sur deux rayons opposés, orientés selon l'inclinaison de l'arbre (fig. 2). Le quotient de la largeur des cernes de croissance de ces deux rayons de xylème, mesurée à l'aide d'un micromètre Henson (précision de mesure: 0,01 mm) monté sous une loupe binoculaire (grossissement: 40X), a servi à confectionner des courbes exprimant des indices d'excentricité des tiges. En fait, l'inclinaison d'un tronc d'arbre entraîne une activité cambiale inégale autour de la tige. La structure du bois de réaction qui en résulte produit une tension (feuillus) ou une compression (conifères) des tissus d'un côté de la tige, lui permettant de se redresser, d'où l'acquisition d'une forme courbée chez les arbres déstabilisés depuis longtemps (Scurfield, 1973). La répartition inégale de l'activité cambiale produit alors spontanément une excentricité des cernes de bois qui permet de dater la déstabilisation de l'arbre.

Au total, 37 arbres penchés ont été répertoriés et carottés. Les dates de réponse des arbres perceptibles dans les courbes d'excentricité sont étudiées à l'aide d'histogrammes pondérés confectionnés selon la méthode proposée par Shroder (1978) en calculant pour chaque période «t» un indice «I» basé sur le pourcentage des réponses datées par rapport au nombre d'arbres susceptibles d'avoir été affectés:

$$I_t = \frac{\sum_{t=1}^n R_t}{\sum_{t=1}^n A_t} \times 100$$

«R» représente la réponse enregistrée pour l'année «t» et «A» la fréquence d'arbres échantillonnés.

L'analyse des données des niveaux d'eau enregistrés à la station de Neuville depuis 1914 a porté sur les moyennes journalières pour la période antérieure à 1961 et sur les enregis-



FIGURE 2. Arbre au tronc courbé occupant un bourrelet d'accumulation au pied d'une niche de décrochement. Les tiges plus petites sont des rejets de souche.

*Tree with bent trunk occupying an accumulation ridge at the base of a landslide scar. Smaller shoots are basal sprouts.*

trements horaires depuis cette date. Trois aspects ont été considérés: (1) la chronologie des maximums diurnes atteignant la bordure forestière, (2) la fréquence des débordements (fréquence annuelle des niveaux de dépassement, *i.e.* 5,5 m au-dessus du zéro marégraphique) et (3) le moment de l'année où les arbres occupant les plages reliques, les talus d'érosion ou les sites de décrochement auraient été atteints par l'eau. Ces données sont comparées aux résultats de l'analyse dendrochronologique et de la structure des populations en vue de dater les phases d'expansion de la forêt vers le rivage et de cartographier les dates de la reprise de l'activité littorale.

## RÉSULTATS

### STRUCTURE D'ÂGE DES POPULATIONS LIGNEUSES SUR LES PLAGES RELIQUES

La communauté forestière occupant la plage relique semble présenter le statut d'une formation en consolidation établie progressivement à la suite d'une diminution de l'activité géomorphologique sur cette partie de la rive. Les arbres et les arbustes sont jeunes (âge maximal: 61 ans, moyenne: entre 17 et 28 ans) (fig. 3). La majorité se sont établis après 1950 (arbres âgés de moins de 38 ans) et la régénération des espèces formant la futaie semble avoir diminué depuis au moins une décennie (groupes d'âge de moins de 11 ans chez *Ulmus americana*, *Acer negundo*, *Fraxinus pennsylvanica*, *F. americana* et *Acer saccharinum*). La strate de régénération est dominée par des arbustes ou arbrisseaux pionniers ou de consolidation dont la structure d'âge révèle l'expansion récente (*Cornus rugosa*, *Acer spicatum*). Il n'y a pas de litière au sol et aucun horizon organique enfoui n'a été observé, ce qui indique que la plage est régulièrement balayée par l'eau lors d'événements hydrologiques importants (ex: crues printanières exceptionnelles et crue au moment des marées de vive-eau, d'équinoxe ou de sizigie). La rareté des semis chez la plupart des espèces et l'abondance des rejets (ayant tous moins de 15 ans), accentuant la structure polycasale de plusieurs individus, suggèrent que la régénération des populations est assurée davantage par multiplication végétative que par mode sexué, un phénomène caractéristique des populations soumises à de fréquents stress ou perturbations écologiques. Les cicatrices glacielles datant de moins de 20 ans sur les arbres sont aussi fréquentes et la partie supérieure des racines de plusieurs individus a été dégagée du sol par l'eau.

### RÉPONSE DES ARBRES DÉSTABILISÉS À LA BASE DE LA FALAISE

Bien qu'il ne semble pas y avoir eu de décrochement majeur au cours des dernières décennies sur le site étudié, on observe une reprise de l'érosion à la base de la falaise, comme en témoigne la présence de plusieurs petits décrochements superficiels. Les indices d'excentricité des cernes annuels des arbres penchés occupant les aires de décrochement augmentent sensiblement sur une période variant de 1 à 8 ans (moyenne de 5 ans) selon les individus (fig. 4). Le temps de réponse des arbres au mouvement de terrain peut ainsi être variable et conditionner de ce fait la précision de la datation dendrochronologique qui serait de l'ordre de  $\pm 5$  ans en moyenne dans le cas des arbres étudiés. Le degré d'excen-

tricité des cernes, de même que la durée de la période de réponse (production de bois de réaction jusqu'au rétablissement de l'équilibre géotropique), semblent être proportionnels au degré d'inclinaison de l'arbre. La déstabilisation d'un arbre

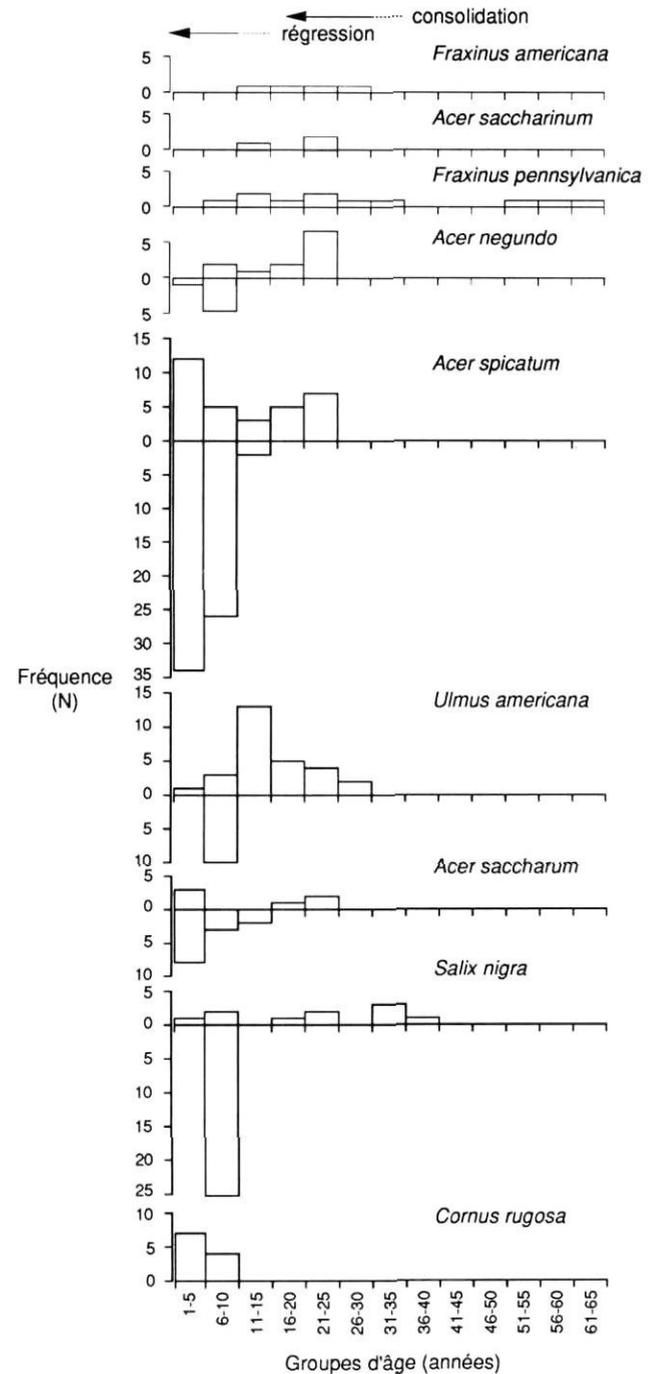


FIGURE 3. Structure d'âge des populations ligneuses occupant une plage relique. Les fréquences sont établies par groupe d'âge de 5 ans. La partie supérieure des graphiques indique l'âge des tiges principales de chaque individu, alors que la partie inférieure représente l'âge des rejets.

Age structure of woody plant populations lying on a raised beach. Frequencies are presented by 5-year age groups. Upper parts of diagrams show the ages of stems, while lower parts indicate the ages of sprouts.

ne semble pas avoir d'effet significatif sur la production ligneuse, mais plutôt sur sa répartition autour du tronc. La figure 5 présente un histogramme pondéré, selon la méthode de Shroder (1978), des dates de réponse des arbres au basculement. Les dates obtenues ont été compilées par décennie de façon à tenir compte de la marge d'erreur de la datation. Les dates de réaction se concentrent autour de deux périodes décennales: 1920 et 1970-90. Le faible nombre de survivants établis au XIX<sup>e</sup> siècle rend difficile l'interprétation des événements antérieurs à 1910. La décennie 1910 et la période de 1930 à 1970 comptent peu d'arbres déstabilisés.

VARIATIONS DU NIVEAU DE CRUE DU SAINT-LAURENT

Depuis 1914, la moyenne annuelle des fluctuations du niveau de l'eau enregistrées à la station marégraphique de Neuville présente une légère tendance à la hausse (30 cm depuis 1914, moyenne de 0,4 cm/an). Cette tendance est surtout le fait d'une augmentation récente du niveau de crue, en

particulier depuis les années 1970. La chronologie des niveaux moyens mensuels les plus élevés de l'année indique deux périodes où les débordements ont été fréquents, l'une centrée sur la décennie 1920, l'autre depuis 1970 (fig. 6A) et deux périodes de très bas niveau de crue de 1931 à 1941 et de 1962 à 1965. Les moyennes mensuelles fournissent toutefois un mauvais portrait de la réalité si l'on considère que l'extrême horaire enregistré le même mois peut dépasser de 3 m le niveau moyen mensuel. La fréquence des hauts niveaux est aussi révélatrice des changements importants dans le régime d'écoulement du fleuve depuis le début du siècle. Ainsi, entre 1930 et 1970, les débordements ont été moins fréquents et de plus faible amplitude qu'après 1970.

La bordure forestière étudiée est située à une altitude de 4,6 m au-dessus du zéro marégraphique. Les niveaux d'eau susceptibles d'entraîner un impact glacial sur les arbres dépassent 5,5 m au-dessus du zéro marégraphique et se produisent de novembre à mars. Depuis 1960 et plus clairement depuis 1970, la fréquence des débordements a beaucoup augmenté, particulièrement en hiver (fig. 6B). À l'instar d'une haute fréquence de débordements (> 5,5 m) entre 1910 et 1930 et depuis 1970 (fig. 6C), la fréquence des inondations en hiver semble avoir doublé au cours des années 1970, une période au cours de laquelle on trouve les niveaux maximums de toute la série d'enregistrements (fig. 6A). Les débordements sont donc plus fréquents, surviennent à tous les moments de l'année, sauf en juillet-août, et atteignent des altitudes inégalées depuis le début du siècle.

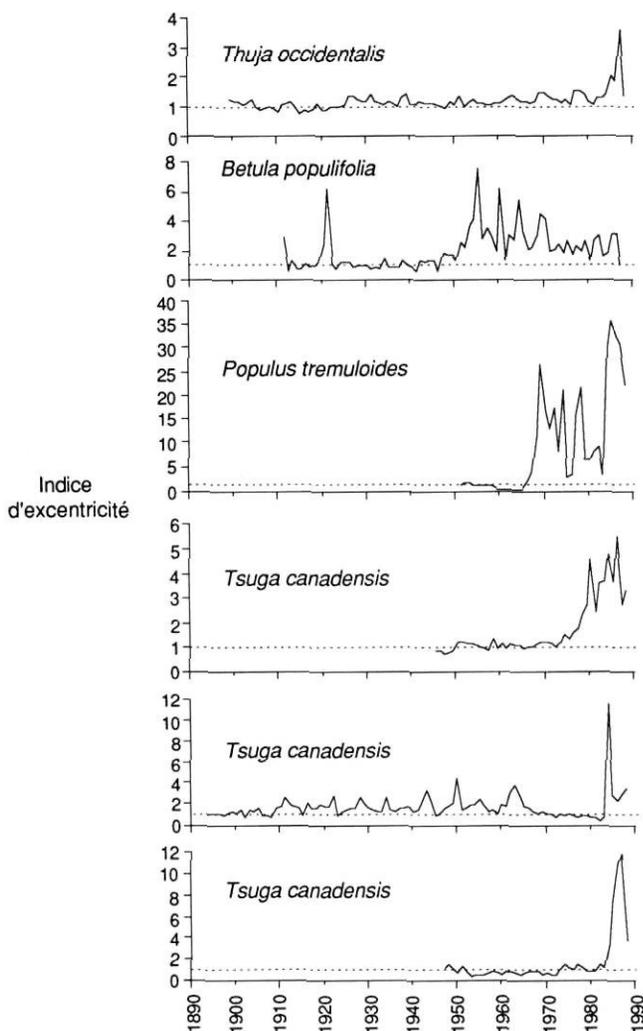


FIGURE 4. Exemples de courbes d'excentricité de la croissance radiale d'arbres déstabilisés lors de décrochements à la base du versant littoral.

Examples of eccentricity curves of trees tilted by landslides at the base of littoral slope.

DISCUSSION

Depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, deux périodes de hauts niveaux semblent avoir eu un effet significatif sur la forêt riveraine de Saint-Antoine-de-Tilly: vers 1920 et depuis les années 1970

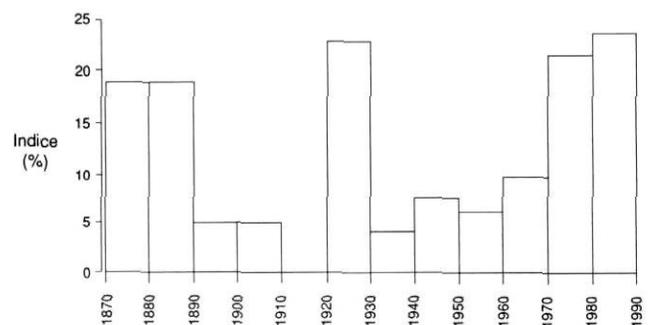
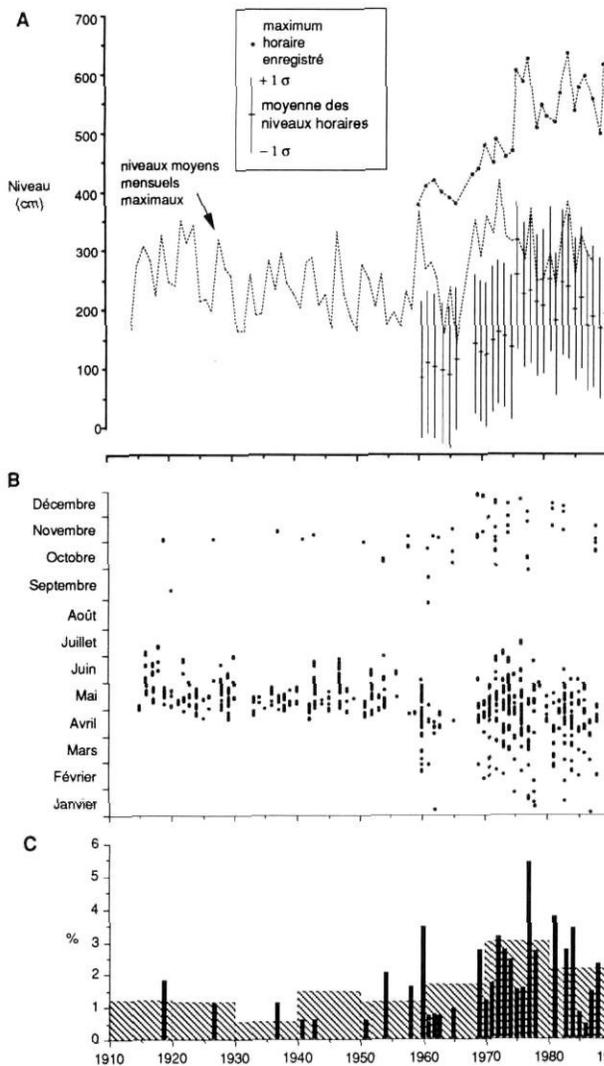


FIGURE 5. Fréquence pondérée des dates de réaction des arbres déstabilisés au pied de la falaise. Les fréquences exprimées sous la forme d'un indice en pourcentage tiennent compte des dates d'établissement des arbres ayant enregistré des réactions aux mouvements de terrain (méthode proposée par Shroder, 1978). Les dates de basculement des arbres correspondent aux moments d'apparition de cernes fortement excentriques dans les troncs d'arbres basculés. Les indices sont calculés par décennie de façon à tenir compte de la marge d'erreur de la datation dendrochronologique de ± 5 ans associée à la spontanéité variable de la réaction des individus.

Distribution of the dates of minor landslides indicated by the eccentricity curves of titled trees. Indices shown as a percentage are computed according to Shroder's (1978) method and presented using a 10 years interval, taking into account the margin of error in tree-ring dating.



(fig. 7). Des périodes intercalaires de bas niveaux ont permis la régénération de la forêt et la survie d'arbres endommagés lors des hauts niveaux. Après une période de bonne croissance autour des années 1910 durant laquelle le niveau de crue ne semble pas avoir affecté de façon significative la bordure forestière (fig. 8A), plusieurs individus ont été déstabilisés par des décrochements de terrain au pied de la falaise (fig. 8B). Des années 1930 jusqu'à la fin des années 1960 (fig. 8C), le niveau de crue du fleuve n'a affecté la bordure forestière que sporadiquement. Cette période semble avoir été caractérisée par des crues de moindre amplitude et de faible fréquence. Une expansion des franges ligneuses semble avoir eu lieu au cours des années 1930 et 1950 sur les plages façonnées par les hauts niveaux des années 1920. Au cours des années 1970 et 1980 des niveaux jusque-là inégalés ont été atteints. Leur haute fréquence et leur amplitude ont provoqué le recul des

FIGURE 6. Niveaux d'eau enregistrés à la station de Neuville depuis 1914. A) Le trait continu indique la moyenne mensuelle la plus élevée de l'année des niveaux moyens journaliers. Le niveau maximal horaire enregistré au cours de l'année et la moyenne annuelle des enregistrements horaires  $\pm 1$  écart type sont aussi indiqués pour la période de 1961 à 1990. B) Dates auxquelles le niveau moyen journalier a dépassé l'altitude de 5,5 m au-dessus du zéro marégraphique. C) Fréquence des débordements d'hiver. Les bâtonnets indiquent la fréquence (%) du dépassement de la cote de 5,5 m par les niveaux moyens journaliers au cours des mois d'hiver (novembre à mars inclusivement) et le hachuré représente la fréquence moyenne décennale des débordements de plus de 5,5 m.

Water levels recorded at Neuville since 1914. A) Solid line indicates the highest monthly mean of daily mean water level during the year. The hourly extremes recorded during the year are also shown with the mean annual level  $\pm 1$  standard deviation computed on an hourly basis. B) Dates of daily mean level above 5.5 m above tide mark 0. C) Frequency of winter floods. Solid bars indicate the frequency (%) of daily mean water levels above 5.5 m during winter months (November to March inclusive) and hatched bars show mean frequency of levels above 5.5 m during the decade.

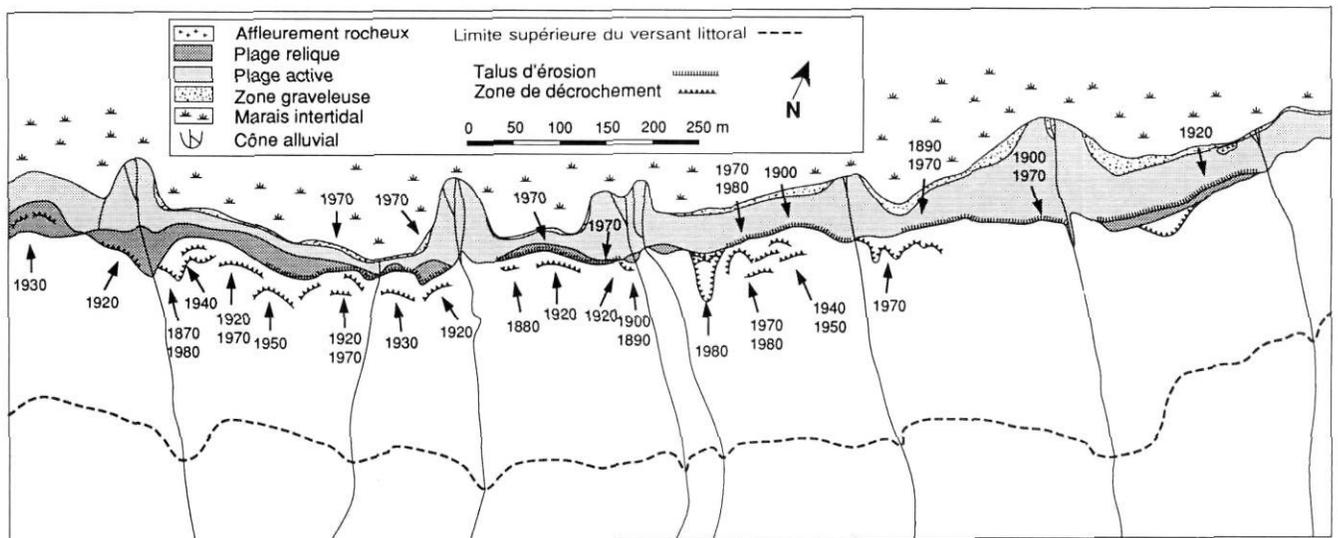


FIGURE 7. Répartition des dates des décrochements mineurs au pied du versant littoral et des dates de recul des talus d'érosion selon l'analyse dendrochronologique. Les dates sont regroupées par décennie de façon à tenir compte de la marge d'erreur de la datation dendrochronologique de  $\pm 5$  ans associée à la spontanéité variable de la réaction des individus.

Distribution of the dates of minor landslides and shore erosion based on dendrochronological analysis. The dates are presented using a 10 years interval, taking into account the margin of error in tree-ring dating.

versants et une régression des marges forestières occupant les plages reliques (fig. 8D). La proportion d'arbres ainsi déstabilisés devient maximale durant les années 1970. La majorité des individus occupant les parties les plus exposées de la rive portent plusieurs générations de cicatrices témoignant d'une recrudescence de l'activité glacielle. L'absence de plantules et de gaulis indique que, sur la rive, la régénération par graines des espèces arborescentes semble aussi compromise depuis deux décennies. Les survivants produisent plutôt des rejets permettant ainsi de prolonger leur existence dans des conditions écologiques difficiles.

À la lumière d'observations de terrain obtenues à plusieurs endroits le long du haut estuaire (Bégin, 1990; Bégin et Lavoie, 1988; Bégin, Langlais et Lavoie, 1990; Bégin, Langlais et Cournoyer, 1991ab), l'état érodé de la frange forestière de Saint-Antoine-de-Tilly semble caractéristique des marges

ligneuses de l'ensemble du haut estuaire, en dépit du fait que les rives ont une composition floristique différente selon les secteurs. Il semble qu'un changement important dans le régime de crue soit survenu autour des années 1970. Ce nouveau régime, favorisant l'érosion des rives, peut être à la fois d'origine naturelle, en étant le fait de fluctuations de longue durée dans le régime pluvio-thermique, et anthropique, en raison d'un contrôle inadéquat de l'écoulement des eaux par les ouvrages de rétention.

D'autres études menées dans le haut estuaire (Chanut *et al.*, 1986) et sur les Grands Lacs canado-américains (Davidson-Arnott, 1989; Sanderson, 1989) ont montré des variations synchrones avec celles enregistrées à Neuville. Dans une analyse des séries de mesures des lacs Huron et Érié débutant en 1836, Moulton et Cuthbert (1987) ont mis en évidence des périodes de hauts niveaux à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, durant les années 1920 et depuis les années 1970, et des bas niveaux à la fin des années 1930 et des années 1960. L'endiguement des Grands Lacs vers la fin des années 1950 a aussi amené un changement dans le régime de crue, mais les variations sont demeurées synchrones dans tous les bassins. L'hydrogramme moyen du haut estuaire montre, avant 1958, deux étiages, l'un au cœur de l'été (juillet-août), l'autre moindre au milieu de l'hiver (janvier-février). Les hauts niveaux apparaissent en automne et au printemps, bien qu'uniquement ces derniers ont atteint les bordures forestières. Depuis le moment où a débuté la régulation artificielle des eaux, le niveau des bassins endigués est maintenu élevé en hiver. Les dégels hâtifs (fin février-début mars) sur les bassins des affluents provoquent des crues précoces que l'on semble contrôler difficilement. Ces crues provoquent souvent une débâcle glacielle et, lorsqu'elles atteignent de hauts niveaux, elles immergent et endommagent lourdement la bordure forestière. Le déchaussement des arbres, leur déstabilisation au pied des falaises et l'abrasion de la glace sur les individus les plus exposés les amènent à développer des formes de croissance irrégulières.

Dans ce contexte, il semble que les crues hâtives, qui ont en général une forte amplitude, accroissent le niveau de perturbation des rives en suscitant une plus grande activité glacielle. Le recul des bordures forestières et de la marge des versants qu'elles colonisent serait vraisemblablement le fait d'un accroissement de la variabilité du régime de crue, imputable probablement à une amplitude accrue des fluctuations thermiques hivernales (fonte hâtive de la neige, ex: années 1973, 1974 et 1976) et, selon Moulton et Cuthbert (1987), à un accroissement des précipitations totales, en particulier depuis les années 1930. Une analyse de la trajectoire modale des systèmes dépressionnaires dans l'axe du Saint-Laurent mériterait d'être explorée en vue d'affiner l'hypothèse d'un accroissement de la variabilité du régime de crue attribuable à une augmentation de la fréquence des situations synoptiques hivernales favorisant les débordements fluviaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Pascal Bédard, Lucie Côté, Marie-Josée Dallaire, Julie Gosselin et Richard Gunn pour leur aide sur le terrain, Ann Delwaide pour ses judicieux conseils lors des travaux de laboratoire et Étienne Girard pour son aide à

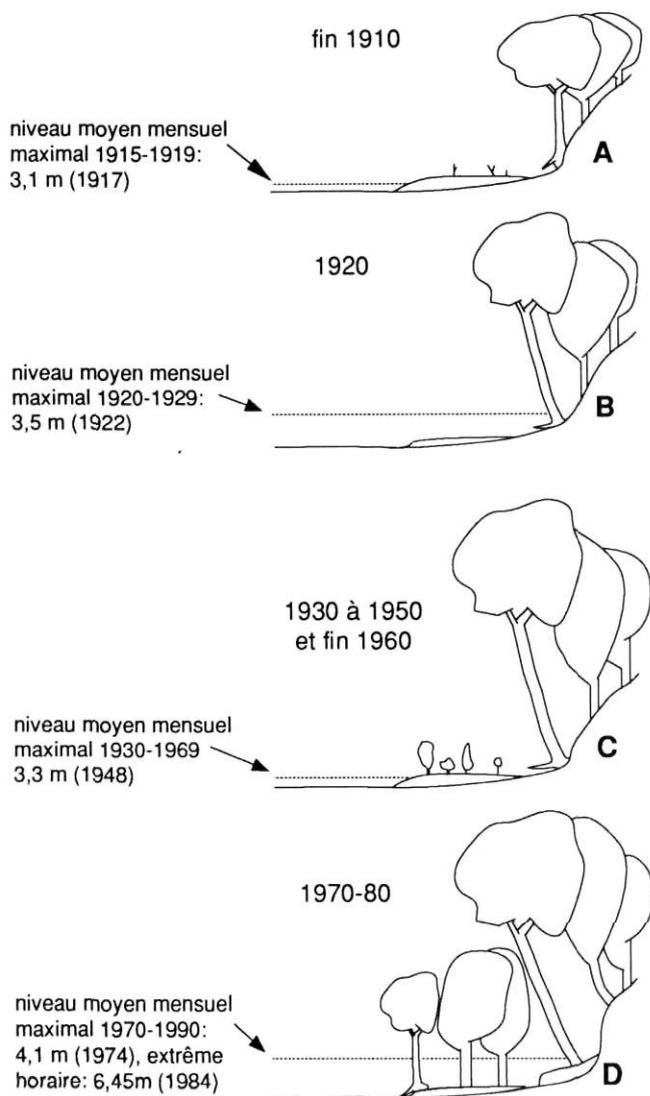


FIGURE 8. Représentation schématique des phases de l'évolution récente des rives (voir le texte pour les commentaires).  
Schematic representation of recent changes in the shore system (see text for comments).

la confection des figures. Le dépouillement de données marégraphiques a été rendu possible grâce à la collaboration de M. Hilaire Chouinard du Contrôle maritime de Québec. Le résumé a été traduit en allemand par Iris von Moers. Cette étude fait partie d'un programme qui a été financé par le fonds FCAR du ministère de l'Éducation du Québec.

## RÉFÉRENCES

- Alestalo, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105: 1-140.
- Bégin, C. et Filion, L., 1985. Analyse dendrochronologique d'un glissement de terrain dans la région du Lac à l'Eau Claire, Nouveau-Québec. *Journal canadien des sciences de la terre*, 22: 175-182.
- 1987. Morphologie et interprétation des glissements de terrain de la région de Poste-de-la-Baleine, Québec subarctique. *Géographie physique et Quaternaire*, 41(1): 19-32.
- Bégin, Y., 1990. The effects of shoreline transgression on woody plants, Upper St. Lawrence Estuary, Québec. *Journal of Coastal Research*, 6(4): 815-827.
- Bégin, Y., Langlais, D. et Cournoyer, L., 1991a. A dendrogeomorphic estimate of shore erosion, upper St. Lawrence estuary, Québec. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 607-615.
- 1991b. Tree-ring dating of shore erosion events (Upper St. Lawrence estuary, Eastern Canada). *Geografiska Annaler*, 73A(1): 53-59.
- Bégin, Y., Langlais, D. et Lavoie, J., 1990. Dégradation récente des bordures forestières du haut-estuaire du Saint-Laurent: méthodes et perspectives de recherche. In D. Messier, P. Legendre et C. E. Delisle (édit.), *Compte rendu du Symposium sur le Saint-Laurent: Un fleuve à reconquérir*. Association des biologistes du Québec et Centre Saint-Laurent, Environnement Canada. Collection Environnement et Géologie, École polytechnique de Montréal, 11: 703-729.
- Bégin, Y. et Lavoie, J., 1988. Dynamique d'une bordure forestière et variations récentes du niveau du fleuve Saint-Laurent. *Journal canadien de botanique*, 66: 1905-1913.
- Bégin, Y. et Payette, S., 1988. Dendroecological evidence of lake-level changes during the last three centuries in subarctic Québec. *Quaternary Research*, 30: 210-220.
- Chanut, J. P., D'Astous, D. et El-Sabh, M. I., 1986. Modelling the natural and anthropogenic variations of the St. Lawrence water level, p. 377-394. In El-Sabh, M. I. et Murty, T. S. (édit.), *Natural and man-made hazards*. *Compte rendu d'un colloque tenu à Rimouski, Québec, 1986*, D. Reidel Publ., Academic Publ. Group, Boston.
- Côté, L., 1989. Effets des hauts niveaux du haut estuaire du Saint-Laurent sur une bordure forestière, Saint-Augustin, Québec. *Mémoire de baccalauréat*, Université Laval, Québec, 35 p.
- Davidson-Arnott, R. G. D., 1989. The effect of water level fluctuations on coastal erosion in the Great Lakes. *Ontario Geography*, 33: 23-39.
- Dionne, J.-C., 1963. Le problème de la terrasse et de la falaise Mic Mac (côte sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent). *Revue canadienne de géographie*, 17(1-2): 9-25.
- 1968a. Morphologie et sédimentologie glacielle, côte sud du Saint-Laurent. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 7: 56-84.
- 1968b. Action of shore ice on tidal flats of the St. Lawrence Estuary. *Maritime Sediments*, 4(3): 113-115.
- 1969. Érosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent. *Revue de géographie de Montréal*, 23(1): 5-20.
- 1970. Aspects morpho-sédimentologiques du glacielle, en particulier des côtes du Saint-Laurent, Québec. Service canadien des forêts, Laboratoire de recherche forestière, Rapport d'information QFX-9, 324 p.
- 1977. La mer de Goldthwait au Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(1-2): 61-80.
- 1981a. Observation sur la charge sédimentaire du couvert de glace du rivage de Montmagny, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35(2): 277-282.
- 1981b. Le déplacement de méga-blocs par les glaces sur les rivages du Saint-Laurent. *Comptes rendus de l'atelier sur l'action des glaces sur les rivages*, Rimouski. Conseil national de recherche du Canada, Comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorales, p. 53-80.
- 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 40(1): 307-323.
- Gauthier, B., 1977. Recherche des limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral). Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, 400 p.
- 1982. L'étagement des plantes vasculaires en milieu saumâtre, estuaire du Saint-Laurent. *Naturaliste canadien*, 109: 189-203.
- Grandtner, M. M., 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- Hupp, C. R., 1988. Plant ecological aspects of flood geomorphology and paleo-flood history, p. 335-356. In Baker, V. R., Kochel, R. C. et Patton, P. C. (édit.), *Flood Geomorphology*. John Wiley and Sons, New York.
- Messely, L., 1983. Géomorphologie littorale et aspects du glacielle des anses de St-Nicolas. *Mémoire de baccalauréat*, Université Laval, Québec, 68 p.
- Moulton, R. J. et Cuthbert, D. R., 1987. Great Lakes water levels: Man and nature in the shore zone. *Comptes rendus de la conférence canadienne sur le littoral*, 1987, Québec. Conseil national de recherche du Canada, Comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorales, p. 19-30.
- Ouellet, Y. et Baird, W., 1978. L'érosion des rives du Saint-Laurent. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 5: 311-323.
- Panasuk, S., 1987. Érosion des îles de Varennes: taux et processus. Thèse M. Sc., Département de géographie, Université du Québec à Montréal, 100 p. + annexes.
- Payette, S., 1980. Les grandes crues glacielle de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec): une analyse dendrochronologique. *Naturaliste canadien*, 107: 215-225.
- Pelletier, M., 1982. Évolution sédimentologique de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent. INRS-Océanologie, Rimouski, 216 p. + annexes; également Thèse de maîtrise Océanographie, Université du Québec à Rimouski.
- Sanderson, M., 1989. Water levels in the Great Lakes — past, present, future. *Ontario Geography*, 33: 1-21.
- Scurfield, G., 1973. Reaction wood: its structure and function. *Science*, 179: 647-655.
- Shroder, J. F., 1978. Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9: 168-185.
- Sigafoos, R. S., 1964. Botanical evidence of floods and flood-plain deposition. United States Geological Survey, Professional Paper, 485-A: 35 p.
- St-Julien, P., 1973. Structure et stratigraphie des roches de la plate-forme et des séquences appalachiennes près de Québec. Association géologique du Canada, Association minéralogique du Canada, Excursion A-9: 34 p.