

Dendroséries du pin blanc (*Pinus strobus* L.) et de la pruche de l'Est (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) dans la région de Québec
White pine (*Pinus strobus* L.) and hemlock (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) tree-ring chronologies in the Québec City area.
Dendrochronologi en von Weißkiefer (*Pinus strobus* L.) und Hemlocktanne (*Tsuga canadensis* L.[Carr.]) im Gebiet von Québec.

Ann Delwaide et Louise Filion

Volume 53, numéro 2, 1999

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/004853ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/004853ar>

[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

Delwaide, A. & Filion, L. (1999). Dendroséries du pin blanc (*Pinus strobus* L.) et de la pruche de l'Est (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) dans la région de Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 53(2), 265–275.
<https://doi.org/10.7202/004853ar>

Résumé de l'article

Nous présentons ici deux séries dendrochronologiques, l'une pour le pin blanc, la série Champlain (1470-1987), l'autre pour la pruche, la série de la Rivière-du-Moulin (1524-1982) qui, toutes deux, couvrent l'ensemble de la période historique en Amérique du Nord. Pour le pin blanc, l'élaboration d'une série de longue durée a été rendue possible par l'utilisation de séries élémentaires locales en provenance : 1) d'arbres fossiles récoltés dans la région de Charlevoix au site d'un ancien glissement de terrain survenu lors du séisme de 1663 (période 1470-1662) ; 2) d'arbres vivants échantillonnés au site de la Rivière-du-Moulin, dans la région de Lotbinière (période 1734-1987) et 3) de pièces récoltées dans quelques sites archéologiques de la région de Québec, et à même deux autels de la Chapelle des Ursulines, dans la ville de Québec. Datant de la fin du XVII^e siècle et du début du XVIII^e siècle, ce troisième groupe d'échantillons a permis de faire le pont entre les séries élémentaires de Charlevoix et de Lotbinière. La série de la pruche (Rivière-du-Moulin), élaborée à partir d'arbres vivants échantillonnés dans la région de Lotbinière, couvre la période 1524-1982.

DENDROSÉRIES DU PIN BLANC (*Pinus strobus* L.) ET DE LA PRUCHE DE L'EST (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) DANS LA RÉGION DE QUÉBEC

Ann DELWAIDE* et Louise FILION**, Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Nous présentons ici deux séries dendrochronologiques, l'une pour le pin blanc, la série Champlain (1470-1987), l'autre pour la pruche, la série de la Rivière-du-Moulin (1524-1982) qui, toutes deux, couvrent l'ensemble de la période historique en Amérique du Nord. Pour le pin blanc, l'élaboration d'une série de longue durée a été rendue possible par l'utilisation de séries élémentaires locales en provenance : 1) d'arbres fossiles récoltés dans la région de Charlevoix au site d'un ancien glissement de terrain survenu lors du séisme de 1663 (période 1470-1662), 2) d'arbres vivants échantillonnés au site de la Rivière-du-Moulin, dans la région de Lotbinière (période 1734-1987) et 3) de pièces récoltées dans quelques sites archéologiques de la région de Québec, et à même deux autels de la Chapelle des Ursulines, dans la ville de Québec. Datant de la fin du XVII^e siècle et du début du XVIII^e siècle, ce troisième groupe d'échantillons a permis de faire le pont entre les séries élémentaires de Charlevoix et de Lotbinière. La série de la pruche (Rivière-du-Moulin), élaborée à partir d'arbres vivants échantillonnés dans la région de Lotbinière, couvre la période 1524-1982.

ABSTRACT *White pine* (*Pinus strobus* L.) and *hemlock* (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) *tree-ring chronologies in the Québec City area*. Reported here are two dendrochronological series, one for white pine, the Champlain series (1470-1987), the second for hemlock, the Rivière-du-Moulin series (1524-1982), which together span the period of historical colonisation for eastern North America. The construction of a long, white pine reference series was made possible by using series built locally from: 1) subfossil trees sampled in the Charlevoix region at a site where a landslide occurred after the 1663 earthquake (period 1470-1662); 2) living trees sampled in the Lotbinière region at the Rivière-du-Moulin site (period 1734-1987), and 3) wood excavated at various archeological sites in the Québec region, along with samples from the two high altars in the Ursulines' chapel, located in Old Québec city. Going back to late 17th century and early 18th century, samples from the third group bridge the gap between the Charlevoix and the Lotbinière local series. The hemlock tree-ring series (Rivière-du-Moulin) (1524-1982) was built from living trees sampled in the Lotbinière region.

ZUSAMMENFASSUNG *Dendrochronologien von Weißkiefer* (*Pinus strobus* L.) *und Hemlocktanne* (*Tsuga canadensis* L. [Carr.]) *im Gebiet von Québec*. Wir stellen hier zwei dendrochronologische Serien vor, die eine für die Weißkiefer, die Champlain-Serie (1470-1987), die andere für die Hemlocktanne, die Rivière-du-Moulin-Serie (1524-1982), welche sich beide über die ganze historische Periode in Nordamerika ausdehnen. Für die Weißkiefer konnte eine langandauernde Serie erstellt werden, durch Nutzung elementarer lokaler Serien von 1) Baumfossilien, die im Gebiet von Charlevoix gesammelt wurden und zwar an der Stelle eines alten Erdbebens, der während des Erdbebens von 1663 stattgefunden hatte (Zeitraum von 1470-1662), 2) lebenden Bäumen, untersucht am Platz von Rivière-du-Moulin im Gebiet von Lotbinière (Zeitraum von 1734-1987), und 3) Holzstücken, die an einigen archäologischen Plätzen der Region Québec gesammelt wurden, zusammen mit Proben von zwei Altären der Kapelle der Ursulinen in der Stadt Québec. Diese dritte Gruppe von Proben vom Ende des 17. Jahrhunderts bis Anfang des 18. Jahrhunderts erlaubte uns eine Verbindung zwischen den elementaren Serien von Charlevoix und Lotbinière herzustellen. Die Hemlocktannen-Serie (Rivière-du-Moulin), die aufgrund lebender Bäume in dem Gebiet von Lotbinière erstellt wurde, erstreckt sich über die Zeit von 1524 bis 1982.

INTRODUCTION

La dendrochronologie offre de nombreuses possibilités d'application dans les domaines de l'écologie, de la géomorphologie, de même qu'en archéologie, pour la datation d'événements naturels (feux, inondations, glissements de terrain, épidémies d'insectes, etc) et de pièces archéologiques (structures et œuvres d'art). L'élaboration de dendroséries (ou séries dendrochronologiques) de longue durée permet de couvrir une période plus grande que ne le permettraient les seuls arbres vivants et ainsi de dater des événements plus anciens.

Dans l'est du Canada, nous disposons, pour les conifères boréaux, de plusieurs séries, dont celle de l'épinette noire (Payette *et al.*, 1985), de l'épinette blanche (Cropper et Fritts, 1981 ; Jacoby, 1983), du mélèze laricin (Jardon *et al.*, 1994 ; Filion, données non publiées), du sapin baumier (Morin et Laprise, 1990 ; Morin *et al.*, 1993) et du thuya occidental (Archambault et Bergeron, 1992). Alors que plusieurs espèces caducifoliées comme l'érable à sucre (Payette *et al.*, 1996) et le frêne noir (Tardif et Bergeron, 1997) ont fait l'objet de travaux dendroécologiques détaillés, les conifères de la forêt tempérée ont été jusqu'ici peu étudiés. L'objectif principal de ce travail est de constituer deux séries dendrochronologiques originales, l'une pour le pin blanc (*Pinus strobus* L.), l'autre pour la pruche [*Tsuga canadensis* L. (Carr.)], construites à partir de spécimens écologiques et archéologiques, et qui couvrent toute la période historique en Amérique du Nord.

Malgré la grande longévité du pin blanc (pouvant atteindre 450 ans), on trouve peu d'arbres âgés de plus de 200 ans au sein de son aire de répartition. Cette situation s'explique en grande partie par l'exploitation dont cette espèce a fait l'objet aux XVII^e et XVIII^e siècles. Le pin blanc a été abondamment utilisé pour la construction d'habitations, de quais et de navires, notamment pour les mâts, de diverses structures utilitaires de même que pour la réalisation d'œuvres d'art. Marie-Victorin (1995, p. 141) décrivait ainsi les nombreuses qualités de son bois et les utilisations multiples qu'on en a faites pendant toute la période historique : « Ses grandes dimensions, sa résistance à la décomposition, l'homogénéité de son bois, la finesse de son grain, la facilité avec laquelle il se travaille, la qualité de ne pas gauchir et de ne pas fendiller en séchant, le rendent propre à une infinité d'usages : la construction de navires, la charpenterie, la menuiserie, la tonnellerie et le tournage, etc. » Son exploitation s'est ensuite intensifiée au début du XIX^e siècle, alors que Napoléon I^{er} imposa un blocus économique à l'Angleterre. Ainsi privé de son approvisionnement en bois en provenance de l'Europe continentale, l'Angleterre se tourna vers ses anciennes colonies. « Au moins 500 des 661 navires quittant le port de Québec sont remplis de pin blanc. » (Année 1810, Provencher, 1991). L'exportation du pin blanc s'est poursuivie pendant plusieurs décennies, puisque des documents historiques datant de 1834 relatent le même phénomène (Provencher, 1988).

La confection de cette série de longue durée pour le pin blanc a nécessité plusieurs sources de matériel et elle s'est effectuée en trois phases. La première portion (1470-1662)

est issue d'une étude antérieure concernant les glissements de terrain dans la vallée de la rivière du Gouffre (Filion *et al.*, 1991). La portion récente (1734-1987) a été confectionnée à partir d'arbres vivants. La portion médiane a été constituée à partir de pièces archéologiques provenant de la région de Québec. En Europe, la datation de pièces archéologiques est chose courante depuis de nombreuses années (Bauch et Eckstein, 1970 ; Baillie, 1976, 1982 ; Eckstein *et al.*, 1984 ; Guibal, 1996 ; Lavier et Lambert, 1996), grâce notamment aux séries de référence du chêne (Pilcher *et al.*, 1984 ; Leuschner et Delorme, 1984). Dans le cadre de ce travail, la datation de pièces historiques a permis de faire le pont entre les deux portions et de constituer ainsi une série de référence couvrant les 518 dernières années.

La pruche a aussi été exploitée de façon intensive pendant la colonisation. Même si cette espèce était vraisemblablement moins bien représentée que le pin blanc de la vallée du Saint-Laurent (étant une espèce de fin de succession), elle a été très utilisée pour la grosse charpente, la construction de ponts et la confection de lattes et de bardeaux (Marie-Victorin, 1995) et présente donc un intérêt pour les études dendroarchéologiques. L'écorce de pruche a également été exploitée en vue de l'exportation vers les États-Unis. Séchée et mise en poudre, elle procurait une substance riche en tannins, alors très utilisée dans la tannerie (Provencher 1988, p. 241). Dans un journal local paru en 1878 (*Gazette des campagnes*, 23 novembre), Henri-Gustave Joly notait : « La pruche devient de plus en plus utile à mesure que disparaît le pin et nous devons faire en sorte d'arrêter cette grande destruction ». Malgré cette exploitation intensive, un peuplement de pruches de plus de 400 ans, sis dans la région de Lotbinière, a permis de constituer une dendrosérie couvrant la période 1524-1987. Il s'agit de la plus longue chronologie jamais constituée pour cette espèce en Amérique du Nord. À ce jour, les seules séries dendrochronologiques disponibles pour le pin blanc et la pruche sont celles provenant de Shawangunk Mountains, dans l'état de New York (Cook, 1976). Elles couvrent les périodes 1626-1973 (pin blanc) et 1636-1973 (pruche).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CONTRAINTES À L'ÉLABORATION DE LONGUES SÉRIES

Dans l'élaboration de longues séries pour l'est de l'Amérique du Nord, nous sommes confrontés à une contrainte importante imposée par la faible longévité des arbres. Les espèces ayant la plus grande longévité sont le thuya occidental (ca 800-900 ans) la pruche de l'Est [ca 800-900 (Fowells, 1965)] et l'épinette noire (ca 450-500 ans), mais les très vieux arbres sont plutôt rares et ne sont trouvés que dans des conditions exceptionnelles de conservation. Dans l'est du Canada, les plus vieux thuyas ont été récoltés dans les îles et le long des rives du lac Duparquet, en Abitibi (Archambault et Bergeron, 1992), ainsi que dans les falaises formant l'escarpement du Niagara (Kelly *et al.*, 1994), à l'abri des incendies forestiers et de la coupe forestière. Paradoxalement, les plus vieilles épinettes connues croissent à la

limite nordique des arbres, ayant échappé, là aussi, au passage du feu (Payette *et al.*, 1985). L'activité des insectes défoliateurs et des organismes pathogènes, moins grande dans les régions froides, n'est peut-être pas non plus étrangère à la survie de ces vieux arbres, même s'ils peuvent être soumis à d'importantes contraintes climatiques.

Dans les régions tempérées, les nombreuses perturbations naturelles (feux, épidémies, agents pathogènes) et anthropiques (coupe forestière, urbanisation, activité agricole) limitent grandement la possibilité de trouver de très vieux arbres. Dans un tel contexte, nous devons nous en remettre à l'utilisation d'arbres fossiles pour confectionner de longues séries, en arc-boutant par interdatation (Fritts, 1976) les séries obtenues d'arbres vivants et celles d'arbres morts. Lorsque deux arbres morts ont vécu pendant la même période, il est possible d'établir une synchronisation entre leur courbe de croissance radiale respective. De cette façon, nous pouvons éventuellement obtenir des séries permettant de reculer plus loin dans le temps que ne le permettraient les plus vieux arbres vivants. Une chronologie flottante est ainsi constituée, laquelle doit être synchronisée à des séries provenant d'un nombre élevé d'arbres bien datés. Bien que cette opération soit en principe simple, son application dans une région donnée dépend de la disponibilité d'arbres subfossiles dans des milieux favorables à leur conservation.

CONDITIONS DE CONSERVATION DES TRONCS D'ARBRES

Les troncs d'arbres morts peuvent se conserver pendant des siècles, voire des millénaires, dans des conditions d'anaérobiose, inhibant la décomposition microbienne. Ces conditions existent dans les sols organiques et minéraux, sous la couche superficielle du sol où se produit la décomposition de la matière organique, ou encore dans l'eau. Ainsi, les palafittes, ces pilotis trouvés en Europe dans des cités lacustres préhistoriques, remontent à la période s'étendant du Néolithique à l'âge du Bronze (3000 à 700 av. J.-C.) (Gassman, 1989). Dans la tourbe, les troncs d'arbres peuvent aussi très bien se conserver (Pilcher *et al.*, 1984 ; Leuchner *et al.*, 1987 ; Filion et Quinty, 1993 ; Lavoie et Payette, 1996 ; Arseneault et Payette, 1997) et leur abondance dépend en partie de la proximité de milieux bien drainés (où croissent les arbres) et de sites en voie d'entourbement. Les sédiments de fluage (Bégin et Filion, 1988 ; Filion *et al.*, 1991) ou encore les dépôts alluvionnaires (Becker et Schirmer, 1977) sont aussi susceptibles de renfermer de nombreux troncs qui, en périodes de crue, se déposent sur les basses terrasses alluviales.

PROVENANCE DU MATÉRIEL

Dans ce travail, les échantillons de pin blanc proviennent de trois sources (fig. 1) : 1) d'arbres subfossiles déjà datés, 2) d'arbres vivants, échantillonnés dans la région de Lotbinière (site de la Rivière-du-Moulin), à quelque 50 km au sud-ouest de la ville de Québec, 3) de pièces archéologiques et d'œuvres d'art religieux en provenance de la région de Québec. Pour ce qui est de la série de la pruche, elle a été constituée à partir d'arbres vivants, aussi échantillonnés dans la région de Lotbinière, sur le même site que le pin blanc.

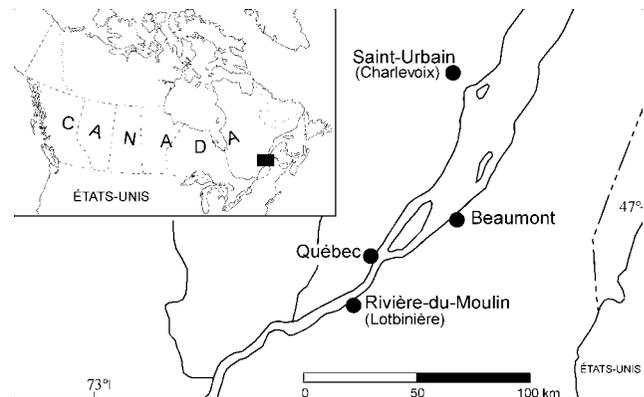


FIGURE 1. Localisation de la région étudiée et des sites d'échantillonnage.

Location of the study area and sample sites.

La portion ancienne de la série du pin blanc provient d'arbres fossiles récoltés dans le fond d'un petit lac qui s'est formé après un glissement de terrain, à Saint-Urbain, dans la vallée de la rivière du Gouffre, dans Charlevoix (Filion *et al.*, 1991). Plusieurs glissements ont été provoqués par un séisme de forte intensité, survenu en février 1663 et relaté dans quelques ouvrages historiques (Relations des Jésuites, 1656-1665, 1972). Les troncs ont été extraits du lac à l'aide d'un bélier mécanique. Des sections transversales ont été prélevées le plus près possible du collet. Le dernier cerne présent sur les échantillons correspond à l'année 1662.

Les arbres vivants étudiés au site de la Rivière-du-Moulin proviennent d'une formation mixte de pins blancs et de pruches dominant la falaise, près de la confluence de la rivière du Moulin et du Saint-Laurent, dans la région de Lotbinière. Ce site unique est aujourd'hui constitué en réserve écologique, à cause de la rareté de ce peuplement végétal dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

Enfin, des échantillons de pin blanc en provenance de cinq structures anciennes de la région de Québec ont été analysés. Sept échantillons ont été récoltés dans la chapelle des Ursulines, à même le tabernacle de l'autel du Sacré-Cœur (2) et de celui du maître-autel (5). Une poutre du couvent des Ursulines, deux pièces d'un quai situé en bordure du boulevard Champlain, ainsi qu'une pièce provenant de l'ancien chantier maritime de Cap-Rouge ont aussi été étudiées. La provenance exacte des arbres utilisés dans ces structures demeure inconnue. Toutefois, plusieurs extraits d'ouvrages historiques (Rousseau *et al.*, 1977 ; Provencher, 1988, 1991) laissent croire que le pin blanc était abondant dans la région immédiate de Québec et que les arbres utilisés étaient de provenance locale.

ÉLABORATION DES SÉRIES DE CHARLEVOIX ET DE LOTBINIÈRE

Cinq arbres (10 rayons) ont été utilisés pour l'élaboration de la série de référence du pin blanc de Charlevoix (Filion *et al.*, 1991) et neuf (13 rayons) pour celle de Lotbinière. La série de référence de la pruche a été élaborée à partir de 17 arbres (35 rayons). Les échantillons (sections transversales

ou carottes, selon le cas) ont été sablés, puis finement poncés, jusqu'à ce que les cellules du bois soient clairement visibles à la loupe binoculaire. L'identification de l'espèce a été faite sur la base des caractéristiques anatomiques du bois (Panshin et de Zeeuw, 1980).

La mesure de la largeur des cernes a été effectuée à l'aide d'un micromètre Henson, d'une précision de 10 µm. Les valeurs mesurées ont ensuite été standardisées à l'aide de droites de régression ou d'ajustements polynômiaux de degré 2 à 4 (Fritts, 1976). Des séries indicées ont été obtenues en divisant les valeurs mesurées par les valeurs de la droite de régression ou de la courbe ajustée. Les séries individuelles fortement corrélées entre elles [r de Pearson ($p < 0,05$)] ont été retenues pour l'élaboration des deux séries de référence.

Les années caractéristiques (*pointer years sensu* Schweingruber, 1990) ont ensuite été répertoriées, en identifiant les cernes très étroits ou très larges par rapport aux cernes adjacents. Nous n'avons retenu que les années caractéristiques chez plus de 50 % des arbres. Lorsqu'ils sont communs à de nombreux individus au sein d'une même population, ces cernes diagnostiques jouent un rôle crucial dans l'interdatation des échantillons.

DATATION DES STRUCTURES ANCIENNES

La pièce du quai du boulevard Champlain, la poutre du couvent des Ursulines, de même que celle provenant de l'ancien chantier maritime de Cap-Rouge, ont été mesurées le long de deux rayons opposés. Une série moyenne indicée a été obtenue pour chacune des trois pièces. Dans la chapelle des Ursulines, une série indicée a été obtenue à partir d'échantillons prélevés sur les deux piliers du tabernacle de l'autel du Sacré-Cœur et une autre de cinq échantillons prélevés à même le tabernacle du maître-autel.

Ces cinq séries indicées en provenance de structures anciennes ont été comparées aux séries de Charlevoix et de Lotbinière. La position des courbes flottantes sur les séries de référence a été déterminée en tenant compte des variations inter-annuelles (de haute fréquence) et à long terme (de basse fréquence), ainsi que des cernes diagnostiques. La concordance entre les séries à dater et les deux séries de référence a été vérifiée à l'aide du test de Gleichläufigkeit (Schweingruber, 1987) et du calcul de coefficients de corrélation (r de Pearson) (Sokal et Rohlf, 1981). Afin de diminuer l'effet de l'autocorrélation des séries, le nombre de degré de liberté (n) a été ajusté (n') à l'aide de la formule suivante (Cook et Jacoby, 1979):

$$n' = n - 2(1 - r_1 r_2) / (1 + r_1 r_2) \quad (1)$$

où r_1 : autocorrélation (d'ordre 1) de la série 1

et r_2 : autocorrélation (d'ordre 1) de la série 2

En outre, des filtres de haute et de basse fréquence (Julian et Fritts, 1968), appliqués aux courbes de plus de 150 ans, ont permis de vérifier la similitude des variations à moyen terme (9 ans) et à long terme (25 ans), à l'aide de tests de corrélation. La méthode d'interdatation du programme COFECHA (Holmes, 1983) a aussi été appliquée afin de vérifier les datations faites par les autres méthodes. Les valeurs mesurées des échantillons non datés ont

d'abord été standardisées à l'aide d'une régression par une fonction spline. Puis, une modélisation autorégressive a permis d'atténuer l'autocorrélation (d'ordre 1) des courbes. La série flottante fut segmentée (segments de 50 ans déplacés par sauts de 10 ans), puis chaque segment a été comparé aux séries de référence (Charlevoix et Lotbinière). La position la plus probable de la série à dater sur la série de référence est celle pour laquelle le nombre de segments fortement corrélés est le plus élevé. Les séries datées ont été successivement incluses dans la série de référence. Les cernes diagnostiques ont aussi été notés sur les pièces en provenance des structures anciennes, puis comparés à ceux des séries de Charlevoix et de Lotbinière. Un test permettant de déterminer le nombre d'échantillons requis dans une dendrosérie [*Expressed Population Signal* (EPS), Wigley *et al.*, (1984)] a été calculé pour chacune des chronologies.

RÉSULTATS

SÉRIE DE RÉFÉRENCE DU PIN BLANC

Années 1470-1721 (fig. 2A à D)

La série de Charlevoix (fig. 2A) couvre la période 1470-1662 (Filion *et al.*, 1991) et elle a permis de dater précisément trois des cinq pièces anciennes. La datation (1470-1682) de la poutre en provenance du couvent des Ursulines (fig. 2B) s'appuie sur la présence de plusieurs cernes diagnostiques formés en 1538, 1544, 1580, 1602, 1614, 1639 (cerne large) et 1652. Le coefficient de corrélation (r : 0,36) est très significatif ($p < 0,01$), même après une correction du nombre de degrés de liberté (n : 191, n' : 78). Les variations enregistrées sur une base de 9 ans et de 25 ans sont aussi fortement corrélées (respectivement 0,33 et 0,47).

La série indicée en provenance du tabernacle de l'autel du Sacré-Cœur a été construite à partir de deux pièces de bois et compte 143 cernes. Elle couvre la période 1579 à 1721 (fig. 2C). Les corrélations entre cette série et celle de Charlevoix (r : 0,31; n : 83, n' : 61) ainsi que celle de la poutre du couvent (r : 0,34; n : 101, n' : 81) sont très significatives ($p < 0,01$). Une concordance de 60 % (test de Gleichläufigkeit) avec la série de Charlevoix et de 55 % avec celle en provenance de la poutre du couvent a été calculée. Les cernes caractéristiques correspondant aux années 1632, 1639, 1667 et 1676 viennent appuyer cette interdatation.

La série en provenance du tabernacle du maître-autel comprend cinq échantillons différents et couvre les 115 années de 1605 à 1719 (fig. 2D). Le coefficient de corrélation entre cette série et celle du tabernacle du Sacré-Cœur est de 0,37 (n : 113, n' : 107). Une concordance de 70 % a été calculée. Au moins trois cernes diagnostiques (1632, 1676 et 1687) sont communs aux deux séries en provenance des structures de la chapelle des Ursulines.

L'interdatation des trois séries élémentaires entre elles et à l'aide de la série de Charlevoix est fondée sur des tests statistiques positifs et sur la présence de plusieurs cernes diagnostiques. L'élaboration d'une série moyenne (fig. 3A) d'une longueur de 252 ans, comprenant l'ensemble des pièces archéologiques de la chapelle et du couvent des Ursuli-

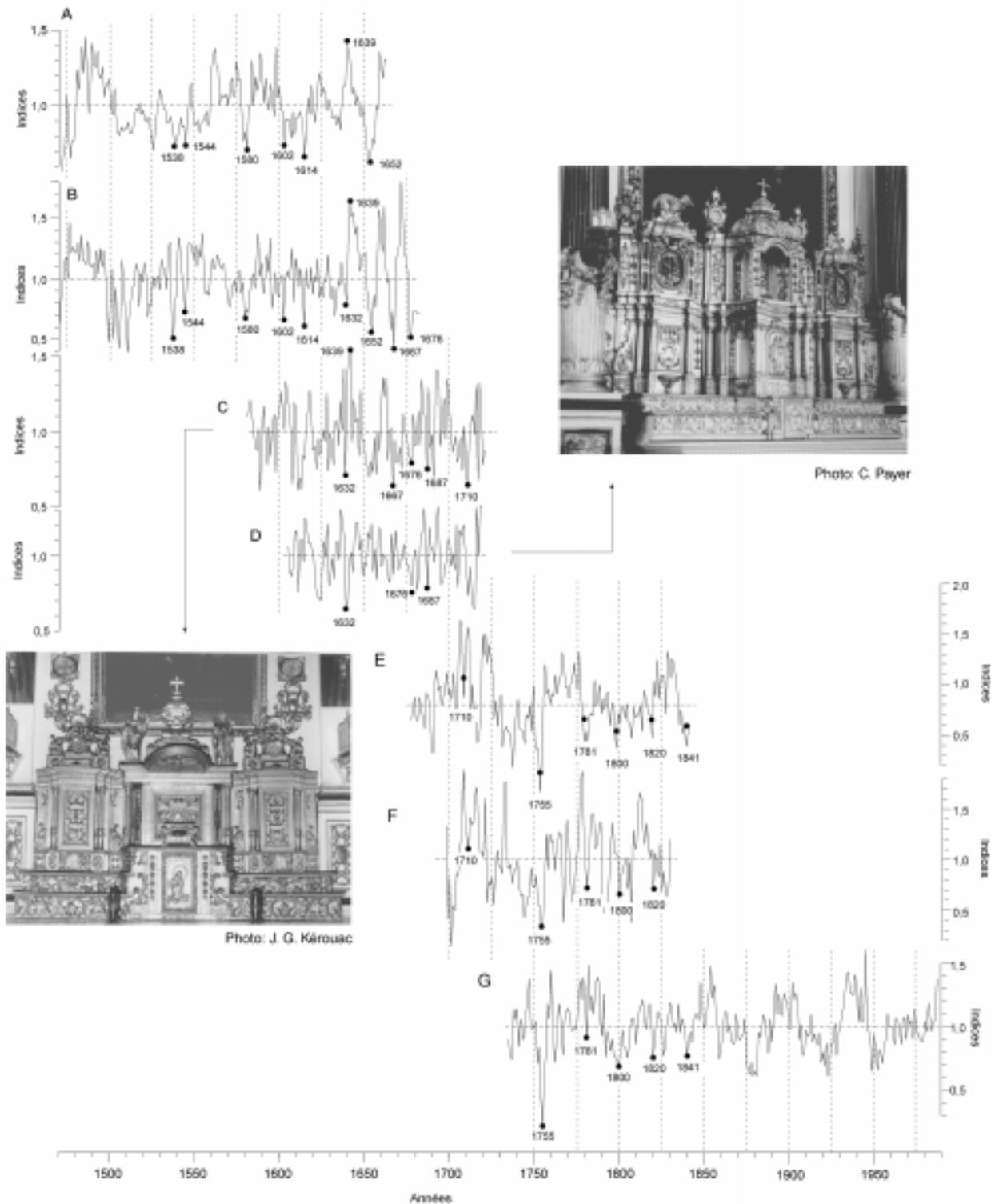


FIGURE 2. Séries dendrochronologiques obtenues du pin blanc. Série de Charlevoix (A) ; poutre du couvent des Ursulines (B) ; tabernacle du Sacré-Coeur (C) ; tabernacle du maître-autel (D) ; quai du boulevard Champlain (E) ; chantier maritime de Cap-Rouge (F) et série de Lotbinière (G). Les points noirs sur les courbes identifient les cerne diagnostiques.

Tree-ring series of white pines. Charlevoix chronology (A); Ursulines convent beam (B); tabernacle of Sacré-Coeur (C); tabernacle of the maître-autel (D); boulevard Champlain quay (E); Cap-Rouge shipyard (F) and chronology from Lotbinière (G). Black dots on curves indicate pointer years.

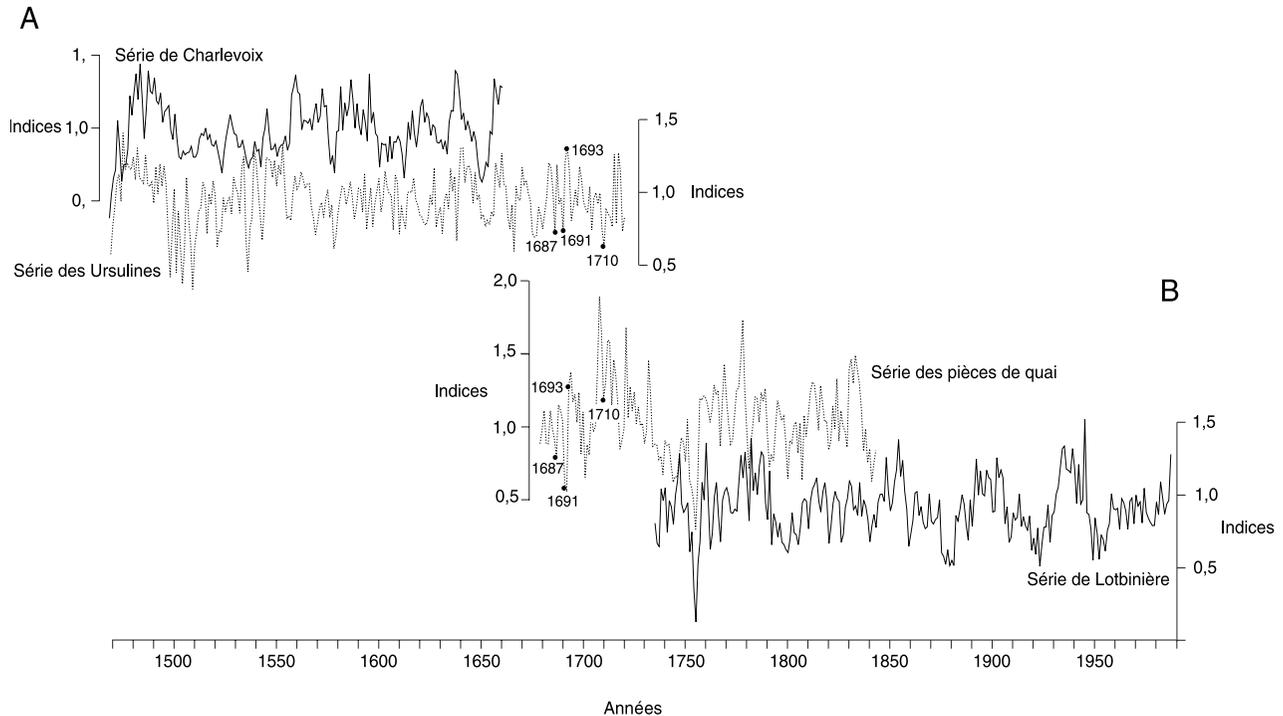


FIGURE 3. Comparaison de la série de Charlevoix et de la série regroupant les pièces archéologiques des Ursulines (A) ; de la série de Lotbinière avec celle des pièces de quai (B). Les points noirs identifient les cernes diagnostiques pendant la période de recoupement des courbes (1679-1721).

Comparison of Charlevoix chronology with archeological pieces from Ursulines (A), of the Lotbinière chronology with pieces from quays (B). Black dots show pointer years for the common period (1679-1721).

nes ($n : 8$) a été calculée. Cette courbe est fortement corrélée avec celle de Charlevoix ($r : 0,30$, $n : 193$, $n' : 101$, $p < 0,01$). La comparaison de cette courbe avec la série de Charlevoix a permis de déterminer, à l'aide du programme COFECHA, les périodes pour lesquelles le signal commun est le plus élevé. Le signal est particulièrement fort ($r : 0,35$) entre 1530 et 1629.

Années 1679-1987 (fig. 2E à G)

La série de référence de Lotbinière, constituée d'arbres vivants (fig. 2G), s'étend de 1734 à 1987. Les cernes diagnostiques sont ceux des années 1755 (cerne très étroit), 1781, 1800, 1820 et 1841.

Une pièce de bois provenant de l'ancien chantier maritime de Cap-Rouge (fig. 2E) a donné une série comprenant 165 années, entre 1679 et 1843. L'interdatation s'appuie sur une bonne corrélation ($r : 0,27$, $n : 163$, $n' : 81$, $p < 0,05$), ainsi que sur la présence de cinq cernes caractéristiques (1755, 1781, 1800, 1820 et 1841) identifiés sur la série de Lotbinière.

Deux pièces de bois provenant d'un quai situé en bordure du boulevard Champlain ont également été interdatées avec la série de Lotbinière. Une série moyenne a été calculée puisque les deux pièces analysées provenaient certainement du même arbre ($r : 0,45$). Elle couvre la période 1698-1830 (fig. 2F). L'interdatation avec la série de Lotbinière s'appuie sur une corrélation significative ($r : 0,41$, $n : 132$, $n' : 91$, $p < 0,01$), sur une concordance de 60 % dans les variations

inter-annuelles et sur la présence de quatre cernes très étroits correspondant aux années 1755, 1781, 1800 et 1820. Cette courbe a également été comparée avec celle du chantier maritime de Cap-Rouge ($r : 0,23$, $n : 132$, $n' : 65$, $p < 0,05$).

En raison de la similarité des variations de croissance des pièces provenant des quais (boulevard Champlain et Cap-Rouge), une courbe moyenne a pu être calculée (fig. 3B). Cette série compte 165 cernes et est fortement corrélée à la série de référence de Lotbinière ($r : 0,41$, $n : 109$, $n' : 56$, $p < 0,01$). La période la plus hautement corrélée ($r : 0,42$) est celle comprise entre 1759 et 1828 (COFECHA).

La période de chevauchement entre la série des Ursulines et la série des pièces de quai est restreinte (1679-1721). Cette période correspond à la toute dernière portion des courbes issues des échantillons de la chapelle des Ursulines, de même qu'au début des courbes en provenance des pièces de quais de la région de Québec. Bien que les courbes provenant des deux tabernacles donnent un signal fort pour la période 1679-1719 ($r : 0,46$, $n : 40$, $n' : 34$, $p < 0,01$), il n'est pas possible de corrélérer positivement les variations de croissance de cette courte période avec le début des courbes en provenance des pièces de quais. Toutefois, on note la présence de quatre cernes diagnostiques (1687, 1691, 1693 et 1710) sur les deux courbes (fig. 3).

Avant de procéder à l'élaboration d'une longue série comprenant l'ensemble des échantillons des trois régions, nous avons comparé les deux régions marginales (Lotbinière et

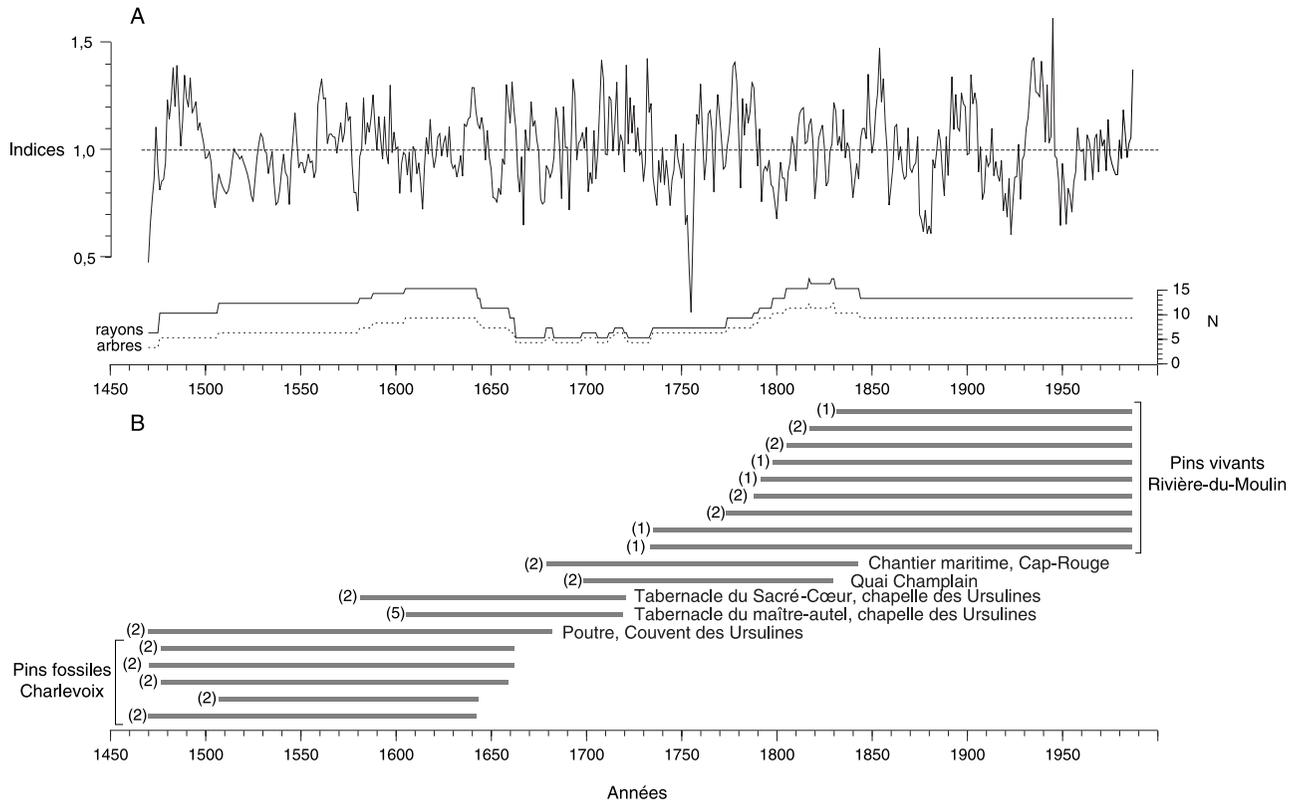


FIGURE 4. Série Champlain du pin blanc et nombre d'échantillons (A), ainsi que la période couverte par chacune des séries élémentaires constituant la longue série Champlain (B). Le nombre de rayons contenus dans chacune des courbes est inscrit entre parenthèses.

Champlain tree-ring series (white pine) and number of samples (A), Period cover by each growth curve of the Champlain chronology (B). The number of radii for each sample is indicated in parenthesis.

Charlevoix) entre elles. Pour ce faire, nous avons utilisé la série de Lotbinière et une série de Charlevoix confectionnée à partir d'arbres vivants et couvrant la période 1838-1984 (Quinty, 1985). La comparaison a été effectuée pour la période commune aux deux séries, soit 1838-1982 ($r : 0,40$, $n : 142$; $n' : 63$, $p < 0,01$). Les séries filtrées sont aussi fortement corrélées pour les variations de moyenne ($r : 0,45$) et de basse fréquence ($r : 0,58$).

Une longue série, appelée série Champlain, du nom du fondateur de la ville de Québec, a été élaborée à partir de toutes les séries élémentaires (fig. 4A). Les corrélations moyennes entre toutes les courbes constituant cette série ont été calculées pour des périodes de 50 ans, déplacées par sauts de 10 ans (tabl. I). Les coefficients de corrélation sont élevés (entre 0,30 et 0,68), surtout pour la période postérieure à 1800, les échantillons provenant tous de la même population. Pour la partie la plus ancienne de la série (1470-1540) et la portion médiane (1690-1770), le nombre d'échantillons est plus faible et ces échantillons proviennent d'arbres dont le contexte de croissance demeure indéterminé.

Au total, 24 échantillons (36 rayons) composent cette série de référence, qui couvre la période 1470-1987 (fig. 4B). Compte tenu du signal commun aux courbes, le nombre d'échantillons composant cette série paraît adéquat puisque la valeur d'EPS calculée (0,88) excède le seuil

(0,85) proposé par Wigley *et al.* (1984). Le tableau II présente les principales caractéristiques des séries constituant la série Champlain.

SÉRIE DE RÉFÉRENCE DE LA PRUCHE

La série de référence de la pruche, appelée série de la Rivière-du-Moulin, couvre la période 1524-1982 (fig. 5A). Les 50 premières années (1524-1574) ne sont représentées que par un seul rayon. Le signal commun aux courbes étant très élevé (r moyen : 0,45), la valeur d'EPS calculée pour cette chronologie (0,93) indique que le nombre d'échantillons est suffisant. La largeur moyenne des cernes (0,53 mm) chez cette espèce à croissance lente (tabl. III) est nettement inférieure à celle du pin blanc (1,21 mm), tandis que la valeur de sensibilité moyenne (0,25) est nettement plus élevée que celle du pin blanc (0,12). La dendrosérie de la pruche est bien corrélée ($p < 0,01$) avec celle du pin blanc ($r : 0,25$; $n : 461$, $n' : 158$).

Cette série de référence a permis la datation de diverses constructions dans la région de Québec, telle une grange située dans le village de Beaumont (fig. 1 et 5B). Les coefficients de corrélation entre la série à dater et la série de référence sont très significatifs ($p < 0,01$), tant pour les variations inter-annuelles ($r : 0,47$; $n : 189$, $n' : 77$) que pour les variations à long terme ($r : 0,27$). Une concordance de l'ordre de 54 % avec la série de Lotbinière a été calculée. La datation

TABLEAU I

Corrélations moyennes entre les courbes selon les périodes de 50 ans déplacées de 10 ans

Période	r Pearson (moyenne)	Période	r Pearson (moyenne)	Période	r Pearson (moyenne)
1470-1520	0,22	1630-1680	0,39	1790-1840	0,31
1480-1530	0,28	1640-1690	0,44	1800-1850	0,37
1490-1540	0,20	1650-1700	0,53	1810-1860	0,47
1500-1550	0,30	1660-1710	0,51	1820-1870	0,47
1510-1560	0,32	1670-1720	0,34	1830-1880	0,47
1520-1570	0,33	1680-1730	0,29	1840-1890	0,50
1530-1580	0,32	1690-1740	0,12	1850-1900	0,53
1540-1590	0,35	1700-1750	0,10	1860-1910	0,53
1550-1600	0,40	1710-1760	0,13	1870-1920	0,56
1560-1610	0,39	1720-1770	0,11	1880-1930	0,59
1570-1620	0,51	1730-1780	0,32	1890-1940	0,61
1580-1630	0,47	1740-1790	0,49	1900-1950	0,67
1590-1640	0,46	1750-1800	0,47	1910-1960	0,68
1600-1650	0,35	1760-1810	0,31	1920-1970	0,67
1610-1660	0,41	1770-1820	0,28	1930-1980	0,62
1620-1670	0,41	1780-1830	0,28	1940-1990	0,58

TABLEAU II

Caractéristiques des séries constituant la série Champlain

	Période couverte	Arbres (rayons)	Sensitivité moyenne	Largeur moyenne des cernes (mm)	Autocorrélation (ordre 1)	r Pearson
Saint-Urbain (Charlevoix)	1470-1662	5(10)	0,11	1,32	0,722	0,30 (n : 193 ; n' : 101)
Poutre (Couvent des Ursulines)	1470-1682	1(2)	0,18	0,87	0,566	
Tabernacle du Sacré-Cœur (Chapelle des Ursulines)	1581-1721	2(2)	0,21	1,38	0,182	
Tabernacle du maître-autel (Chapelle des Ursulines)	1605-1719	5(5)	0,15	2,03	0,281	
Quai (Boul. Champlain)	1698-1830	1(2)	0,26	1,55	0,574	0,41 (n : 109 ; n' : 56)
Chantier naval (Cap-Rouge)	1679-1843	2(4)	0,19	1,44	0,588	
Rivière-du-Moulin (Lotbinière)	1735-1987	9(13)	0,14	1,05	0,550	
Série Champlain	1470-1987	24(36)	0,12	1,21	0,610	

(1667-1857) s'appuie aussi sur la présence de cernes diagnostiques (1683, 1700, 1807, 1826 et 1847).

DISCUSSION

Débutant respectivement en 1470 et en 1524, les dendroséries du pin blanc et de la pruche couvrent l'ensemble de la période historique en Amérique du Nord et les portions initiales précèdent les premières installations permanentes dans la ville de Québec, fondée en 1608. Elles constituent un outil

approprié pour des études ultérieures, tant pour la datation de phénomènes écologiques, géomorphologiques que pour les études archéologiques.

Jusqu'au début du XIX^e siècle, le pin blanc et la pruche étaient fort répandus et bien représentés dans les forêts des basses-terres du Saint-Laurent. Ces arbres ont été des témoins privilégiés de l'histoire de la région pour les 500 dernières années, tant du point de vue des phénomènes naturels que de l'activité humaine. La confection de la dendrosérie du pin blanc constitue un exemple de complémentarité entre

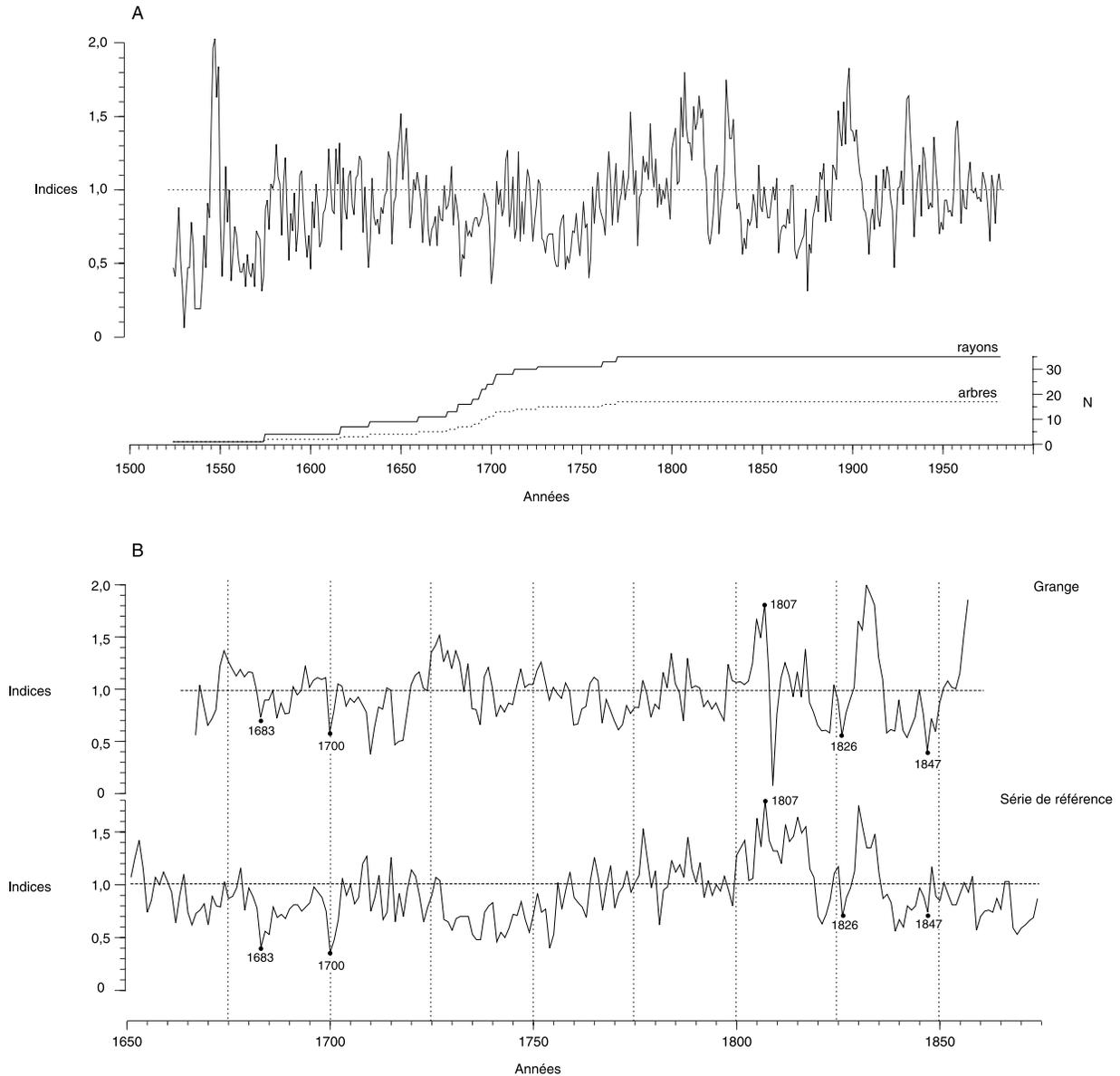


FIGURE 5. Série Rivière-du-Moulin de la pruche et nombre d'échantillons (A), courbe en provenance d'une grange à Beaumont et portion de la série de référence pour la période 1650-1900 (B). Les points noirs sur les courbes identifient les cernes diagnostiques.

Rivière-du-Moulin tree-ring series for hemlock and number of samples (A), index curve from a barn located at Beaumont and part of the master series for the 1650-1900 period (B). Black dots indicate pointer years.

TABLEAU III

Caractéristiques de la série de la Rivière du Moulin (pruche)

Nombre d'arbres	17
Nombre de rayons	35
Durée de la série	459 ans
Période couverte	1524-1982
Largeur moyenne des cernes et écart type	0,53-0,29 mm
Sensibilité moyenne	0,25
Autocorrélation d'ordre 1	0,81

l'étude des phénomènes naturels et l'archéologie, puisque la série comprend à la fois des arbres datés par un glissement de terrain, des arbres vivants, ainsi que des pièces archéologiques. La dendrosérie en résultant servira les intérêts de ces deux champs d'étude.

La région représentée par la série Champlain se situe au cœur de l'axe laurentien, depuis Lotbinière jusque dans la vallée de la rivière du Gouffre dans Charlevoix (fig. 1). Les corrélations élevées obtenues entre, d'une part, la série de Charlevoix et les séries de la région de Québec et, d'autre part, les séries de la région de Québec et celle de Lotbinière, semblent indiquer que les conditions de croissance du pin

blanc sont similaires au sein de ce territoire, vraisemblablement sous l'influence du même régime macroclimatique. Les températures moyennes pour l'ensemble de la saison de croissance (juin à août) enregistrées aux stations météorologiques de Saint-Urbain et de l'Ancienne-Lorette à Québec, pour la période 1957-1992, sont très fortement corrélées ($r : 0,94$) et indiquent une légère différence de $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($17,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ à l'Ancienne-Lorette et $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ à Saint-Urbain).

Chez le pin blanc, plusieurs cernes très étroits (1538, 1544, 1580, 1602, 1614, 1632, 1667, 1676, 1687, 1755, 1781, 1800, 1820 et 1841) constituent des repères chronologiques fiables pour l'interdatation. La portion médiane de la série, couvrant la période 1663-1734 est toutefois moins bien représentée. Un effort d'échantillonnage de vieilles structures devrait permettre de combler cette lacune et de renforcer cette portion de la série par un nombre accru d'échantillons.

La pruche étant une espèce à croissance très lente par rapport au pin blanc (largeur moyenne des cernes de $0,53\text{ mm}$ pour la pruche et de $1,21\text{ mm}$ pour le pin), elle présente un intérêt certain pour des études dendroclimatiques. En effet, la sensibilité moyenne de la série de la Rivière-du-Moulin (*sensu* Fritts, 1976) est de $0,25$, celle de la série Champlain (pin blanc) n'atteignant que $0,12$. Cet indice constitue une évaluation de l'importance des variations inter-annuelles de la croissance radiale. La valeur obtenue pour la série de la Rivière-du-Moulin ($0,25$) est supérieure à celle obtenue par Cook (1976) dans l'état de New York ($0,17$). Étant à la limite nord-est de son aire de répartition, il est possible que cette espèce montre ici une plus grande sensibilité aux conditions climatiques.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude aux personnes qui nous ont offert leur précieuse collaboration dans la poursuite de ces travaux : M. Claude Payer du Centre de Conservation, ministère de la Culture du Québec ; les Ursulines du couvent de Québec qui nous ont accordé la permission d'étudier les œuvres d'art religieux en provenance de la chapelle ; M^{mes} Dominique Martin et Christiane Laroche du groupe CERANE qui nous ont fourni plusieurs pièces de bois en provenance de sites archéologiques et enfin, MM. Luc Cournoyer, Donald Labrie et François Quinty, qui nous ont permis d'utiliser des données contenues dans des rapports de recherche. Les photographies des autels de la chapelle des Ursulines ont été prises par MM. J. G. Kérouac et Claude Payer du Centre de Conservation. Ces travaux ont pu être réalisés grâce à des subventions octroyées à L. Filion, par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et le Fonds FCAR pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche.

RÉFÉRENCES

- Archambault, S. et Bergeron, Y., 1992. An 802-year tree-ring chronology from the Quebec boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 : 674-682.
- Arseneault, D. et Payette, S., 1997. Landscape change following deforestation at the arctic tree line in Québec, Canada. *Ecology*, 78 : 693-706.
- Baillie, M. G. L., 1976. Dendrochronology as a tool for the dating of vernacular buildings in the north of Ireland. *Vernacular Architecture*, 7 : 3-10.
- Baillie, M. G. L., 1982. *Tree-ring dating and archeology*. Croom Helm, London.
- Bauch J. et Eckstein, D., 1970. Dendrochronological dating of oak panels of dutch seventeenth-century painting. *Studies in Conservation*, 15 : 45-50.
- Becker, B. et Schirmer, W., 1977. Paleocological study on the Holocene valley development of the river Main, southern West Germany. *Boreas*, 6 : 303-322.
- Bégin, C. et Filion, L., 1988. Age of landslides along the Grande Riviere de la Baleine estuary, eastern coast of Hudson Bay, Quebec (Canada). *Boreas*, 17 : 289-299.
- Cook, E.R., 1976. A tree-ring analysis of four tree species growing in southeastern New York State. Thèse M.Sc., University of Arizona, Tucson.
- Cook, E. R. et Jacoby, G. C., 1979. Evidence for quasi-periodic July drought in the Hudson Valley, New York. *Nature*, 282 : 390-392.
- Cropper, J. P. et Fritts, H. C., 1981. Tree-ring width chronologies from the North American arctic. *Arctic and Alpine Research*, 13 : 245-260.
- Eckstein, D., Baillie, M.G.L. et Egger, H., 1984. *Handbooks for Archaeologists, No. 2: Dendrochronological Dating*. European Science Foundation, Strasbourg, France. 55 p.
- Filion, L., et Quinty, F., 1993. Macrofossil and tree-ring evidence for a long-term forest succession and mid-Holocene hemlock decline. *Quaternary Research*, 40 : 89-97.
- Filion, L., Quinty, F. et Bégin, C., 1991. A chronology of landslide activity in the valley of rivière du Gouffre, Charlevoix, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28 : 250-256.
- Fowells, H. A., 1965. *Silvics of forest trees of the United States*. USDA, Washington, DC, Handbook 271.
- Fritts, H. C., 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- Gassman, P., 1989. Le stockage du bois sur le site Bronze Final de Cortailod-Est. *Dendrochronologia*, 7 : 105-121.
- Guibal, F., 1996. Dendrochronological studies in the French Mediterranean area, p. 505-513. *In* J.S Dean, D.M Meko et T.W.Swetnam, édit., *Tree Rings, Environment and Humanity. Radiocarbon 1996*, Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson.
- Holmes, R. L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43 : 69-78.
- Jacoby, G. C., 1983. A dendroclimatic study in the forest-tundra ecotone on the east shore of Hudson Bay, p. 95-99. *In* P. Morisset et S. Payette, eds., *Tree-Line Ecology*. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec.
- Jardon, Y., Filion, L. et Cloutier, C., 1994. Tree-ring evidence for endemicity of the larch sawfly in North America. *Canadian Journal of Forest Research*, 24 : 742-747.
- Joly, H.-G., 1878. L'aménagement des forêts, p. 335-336. *In* : Gazette des campagnes : journal du cultivateur et du colon. 23 novembre.
- Julian, P.R. et Fritts, H. C., 1968. On the possibility of quantitatively extending climatic records by means of dendroclimatological analysis. *Proceedings of the First Stat. Meteorology Conference, American Meteorological Society, Hartford, Connecticut*, 76-82.
- Kelly, P.E., Cook, E.R. et Larson, D.W., 1994. A 1397-year tree-ring chronology of *Thuja occidentalis* from cliff faces of the Niagara Escarpment, southern Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 24 : 1049-1057.
- Lavier, C. et Lambert, G., 1996. Dendrochronology and works of art, p. 543-556. *In* J.S Dean, D.M Meko et T.W.Swetnam, édit., *Tree Rings, Environment and Humanity. Radiocarbon 1996*, Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson.
- Lavoie, C. et Payette, S., 1996. The long-term stability of the boreal forest limit in subarctic Québec. *Ecology*, 77 : 1226-1233.
- Leuschner, H.-H., et Delorme, A., 1984. Verlängerung der Göttinger Eichen-jahringchronologien für Nord- und Süddeutschland bis zum Jahr 4008 v. Chr. *Foorstarchiv*, 55 : 1-4.
- Leuschner, H.H., Delorme, A. et Hoeffle, H.C., 1987. Dendrochronological study of oak trunks found in bogs of northwest Germany, p. 298-318. *In*

- G.C. Jacoby, Jr. et J.W. Hornbeck, édit., *Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis*. U.S. Department of Energy, CONF-8608144.
- Marie-Victorin, F., 1995. *Flore laurentienne*. Troisième édition, Les Presses de l'Université de Montréal.
- Morin, H. et Laprise, D., 1990. Histoire récente des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du lac Saint-Jean, Québec : une analyse dendrochronologique. *Canadian Journal of Forest Research*, 20 : 1-8.
- Morin, H., Bergeron, Y. et Laprise, D., 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region. *Canadian Journal of Forest Research*, 23 : 1497-1506.
- Panshin, A. J. et de Zeeuw, C., 1980. *Textbook of wood technology. Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada*. McGraw-Hill, New York.
- Payette, S., Filion, L., Gauthier, L. et Boutin, Y., 1985. Secular climate change in old-growth tree-line vegetation of northern Quebec. *Nature*, 315 : 135-138.
- Payette, S., Fortin, M.-J. et Morneau, C., 1996. The recent sugar maple decline in southern Quebec : probable causes deduced from tree rings. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 : 1069-1078.
- Pilcher, J.R., Baillie, M. L. G., Schmidt, B. et Becker, B., 1984. A 7272 year European tree-ring chronology. *Nature*, 312 : 150-152.
- Provencher, J., 1988. *Les quatre saisons dans la vallée du Saint-Laurent*. Les Éditions du Boréal, Montréal.
- 1991. *Chronologie du Québec*. Les Éditions du Boréal, Montréal.
- Quinty, F., 1985. Le glissement de terrain de 1663 dans la vallée de la rivière du Gouffre (Charlevoix): une analyse dendrochronologique. *Mémoire Bacc.*, Université Laval, Québec.
- Relations des Jésuites, 1656-1665*. Éditions du Jour, 1972. Vol. 5, Montréal.
- Rousseau, J., Béthune, G. et Morisset, P., 1977. *Voyage de Pehr Kalm au Canada en 1749*. Pierre Tisseyre, Montréal.
- Schweingruber, F. H., 1987. *Tree rings. Basics and Applications of Dendrochronology*. D. Reidel Publishing, Dordrecht.
- Schweingruber, F. H., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8 : 9-38.
- Sokal, R.R. et Rohlf, F.J., 1981. *Biometry*. Deuxième édition. Freeman, New York.
- Tardif, J. et Bergeron, Y., 1997. Comparative dendroclimatological analysis of two black ash and two white cedar populations from contrasting sites in the Lake Duparquet region, northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 27 : 108-116.
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R. et Jones, P. D., 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23 : 201-213.