

# Histoire postglaciaire de la végétation de la forêt boréale du Québec et du Labrador

Pierre J. H. Richard, Bianca Fréchette, Pierre Grondin and Martin Lavoie

Volume 144, Number 1, Spring 2020

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1070086ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1070086ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (print)

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Richard, P. J. H., Fréchette, B., Grondin, P. & Lavoie, M. (2020). Histoire postglaciaire de la végétation de la forêt boréale du Québec et du Labrador. *Le Naturaliste canadien*, 144(1), 63–76. <https://doi.org/10.7202/1070086ar>

Article abstract

The postglacial history of the present-day black spruce and balsam fir-dominated bioclimatic domains of boreal Québec and southern Labrador (Canada) was reconstructed using 61 pollen diagrams from lake sediments. The period, deglaciation geography and climate determined whether or not there was an initial tundra vegetation. The establishment of trees and the subsequent development of forest cover were largely a function of climatic changes and the varied occurrence of fire over time. Afforestation was diverse, with numerous vegetational landscapes lacking modern analogues. Their duration was varied, with certain species showing extreme cases of cornering and effusion, both in space and time. The establishment of forests similar to those found today was gradual. As the climate warmed, there was an increase in the abundance of relatively thermophilous species. This progression culminated between 8,000 and 4,000 years ago. Climatic deterioration then caused a regression of the vegetation cover, giving rise to the present bioclimatic domains.

# Histoire postglaciaire de la végétation de la forêt boréale du Québec et du Labrador

Pierre J. H. Richard, Bianca Fréchette, Pierre Grondin et Martin Lavoie

## Résumé

L'histoire postglaciaire des domaines bioclimatiques actuels des pessières et des sapinières du Québec boréal et du sud du Labrador (Canada) fut reconstituée à partir de 61 diagrammes polliniques de sédiments lacustres. L'époque, la géographie de la déglaciation et le climat associé ont déterminé la présence ou non d'une végétation initiale de toundra selon les endroits. La migration des arbres et le développement ultérieur du couvert forestier se firent surtout en fonction des conditions climatiques changeantes et de l'incidence inégale des incendies naturels au fil du temps. L'afforestation fut très diversifiée, comportant de nombreux paysages végétaux sans analogue moderne. Leur durée fut variable, avec des cas extrêmes de coincement ou d'effusion temporelle ou spatiale de certaines espèces. Des forêts semblables aux couverts modernes se sont établies progressivement. Avec l'amélioration climatique, la progression a culminé entre 8 000 et 4 000 ans avant nos jours par l'abondance accrue d'essences relativement thermophiles. Une régression de la végétation liée à une détérioration climatique s'ensuivit, ce qui mena aux domaines bioclimatiques actuels.

**MOTS CLÉS :** forêt boréale, paléophytogéographie, palynologie, postglaciaire, Québec

## Abstract

The postglacial history of the present-day black spruce and balsam fir-dominated bioclimatic domains of boreal Québec and southern Labrador (Canada) was reconstructed using 61 pollen diagrams from lake sediments. The period, deglaciation geography and climate determined whether or not there was an initial tundra vegetation. The establishment of trees and the subsequent development of forest cover were largely a function of climatic changes and the varied occurrence of fire over time. Afforestation was diverse, with numerous vegetational landscapes lacking modern analogues. Their duration was varied, with certain species showing extreme cases of cornering and effusion, both in space and time. The establishment of forests similar to those found today was gradual. As the climate warmed, there was an increase in the abundance of relatively thermophilous species. This progression culminated between 8,000 and 4,000 years ago. Climatic deterioration then caused a regression of the vegetation cover, giving rise to the present bioclimatic domains.

**KEYWORDS:** boreal forest, palaeophytogeography, palynology, postglacial, Québec

## Introduction

Quelle est l'histoire de la forêt boréale du Québec? Quand a-t-elle adopté la structure et la composition d'essences qu'on y trouve actuellement? Sous quelle forme a-t-elle survécu à la dernière glaciation? Quels changements a-t-elle connus pendant le retrait des glaces et par la suite, dans l'ensemble du territoire? Répondre à de telles questions fait l'objet de cet article.

Pour ce faire, nous nous appuyons principalement sur les résultats fournis par la méthode de l'analyse pollinique (Lavoie, 2008) appliquée aux sédiments des lacs, et notamment sur les récents travaux de Fréchette et collab. (2018; sous presse) qui traitent de l'histoire postglaciaire de la végétation et du climat des domaines bioclimatiques des pessières et des sapinières du Québec et du sud du Labrador. Ces travaux font la synthèse des données pollenanalytiques, publiées ou encore inédites, accumulées sur la forêt boréale du Québec et des environs depuis une cinquantaine d'années. Pour la première fois, nous traitons de l'ensemble du territoire de la forêt boréale de l'est de l'Amérique du Nord, en utilisant des méthodes quantitatives de comparaison des données. Cet exercice livre des reconstitutions uniformes de la végétation et du climat du passé. La présente synthèse en résume l'essentiel des résultats.

Un récent article paru dans *Le Naturaliste canadien* (Couillard et collab., 2019) décrit très bien le gradient longitudinal diversifié qui caractérise de nos jours le domaine bioclimatique de la pessière noire à mousses au Québec sur les plans physiographique, climatique et écologique. L'histoire postglaciaire des paysages végétaux boréaux que nous proposons ici contribuera à y ajouter une perspective temporelle à long terme. Notre objectif est d'offrir aux naturalistes une image synthétique et nuancée du passé touchant la forêt boréale dans l'ensemble du territoire.

*Pierre J. H. Richard (B. Sc. appl. foresterie, D. Sc.) est paléogéographe et professeur émérite au Département de géographie de l'Université de Montréal.*

*Pierre.Richard@UMontreal.ca*

*Bianca Fréchette (géologue, Ph. D.) est chercheuse en paléoécologie au Centre de recherche sur la dynamique du système Terre à l'Université du Québec à Montréal.*

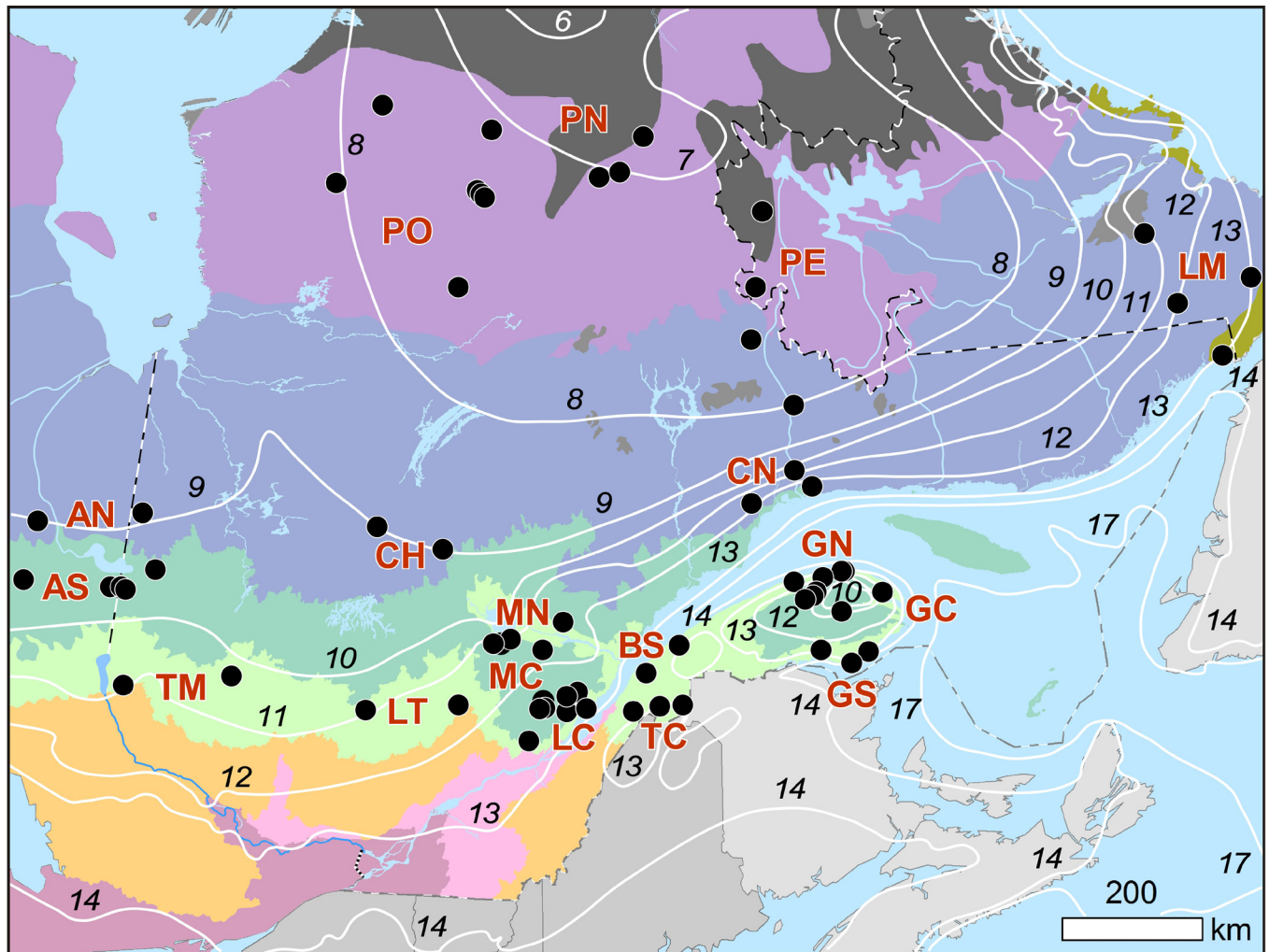
*Pierre Grondin (B. Sc. appl. foresterie, Ph. D.) est chercheur en écologie au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.*

*Martin Lavoie (géologue, Ph. D.) est professeur titulaire au Département de géographie et chercheur en paléoécologie au Centre d'études nordiques de l'Université Laval.*

Nous décrivons d'abord l'aire d'étude et la méthodologie employée pour reconstituer la végétation du passé par la méthode de l'analyse pollinique. Nous offrirons ensuite une synthèse de l'histoire de la forêt boréale, en commençant par un bref examen des paysages végétaux ayant longtemps régné au sud des glaces, puisque la quasi-totalité de la flore indigène de nos forêts s'y trouvait confinée au départ. Finalement, nous aborderons l'histoire postglaciaire de la végétation au cours des récents millénaires, de l'établissement des premières plantes aux paysages qui nous sont contemporains, en passant par la constitution des premières forêts, puis par l'époque de leur maximum de diversité.

**Aire d'étude**

L'aire d'étude comprend les domaines et sous-domaines bioclimatiques occidentaux et orientaux des pessières et des sapinières du Québec (figure 1). Ils sont bornés par le domaine de la toundra forestière, au nord, et par celui de l'érablière à bouleau jaune, au sud. Ils appartiennent tous à la forêt boréale, sauf le domaine de la sapinière à bouleau jaune qui relève de la forêt tempérée nordique. Ces domaines bioclimatiques constituent des bandes de végétation qui se succèdent en latitude, mais qui répondent aussi à des gradients longitudinaux du climat (Couillard et collab., 2019; Grondin et collab., 2007; Saucier



■ Toundra forestière	■ Pessière à lichens	■ Pessière à mousses	■ Sapinière à bouleau blanc
■ Sapinière à bouleau jaune	■ Érablière à bouleau jaune	■ Érablière à tilleul d'Amérique	■ Érablière à caryer cordiforme

AN: Abitibi Nord	GC: Gaspésie Centre	LT: Laurentides trifluviennes	PO: Plateau laurentidien Ouest
AS: Abitibi Sud	GN: Gaspésie Nord	MC: Massif des Laurentides Centre	TC: Témiscouata
BS: Bas-Saint-Laurent	GS: Gaspésie Sud	MN: Massif des Laurentides Nord	TM: Témiscamingue
CH: Chibougamau	LC: Laurentides charlevoisiennes	PE: Plateau laurentidien Est	
CN: Côte-Nord	LM: Labrador méridional	PN: Plateau laurentidien Nord	

**Figure 1.** Répartition des lacs (points noirs) dont les sédiments ont livré des diagrammes polliniques et identification des 18 secteurs de la figure 3 dans les divers domaines bioclimatiques de la forêt boréale du Québec et du Labrador selon Saucier et collab. (2009) et selon Baldwin et collab. (2018) pour le Labrador et l'Ontario. Les lignes blanches isochrones de la dernière déglaciation (Dyke et collab., 2003; mis à jour) sont tracées à tous les 1000 ans avant l'Actuel (soit l'année 1950 de notre ère, par convention), sauf pour 17 ka AA dans le golfe du Saint-Laurent. Le nombre en caractères italiques au-dessus de chaque isochrone en indique l'âge.

et collab., 2009). De vastes zones du domaine de la sapinière à bouleau blanc se déploient toutefois plus au sud sur les hauts reliefs, dans le massif des Laurentides au nord de la ville de Québec et aussi dans les Appalaches, en Gaspésie, en réponse au climat plus frais et plus humide qui y règne. Inversement, le domaine de la sapinière à bouleau jaune s'insinue vers le nord en Sagamie, le long du Saguenay et jusqu'au lac Saint-Jean, à cause du climat plus doux qu'on y trouve.

## Méthodologie

L'histoire postglaciaire des pessières et des sapinières du Québec et du sud du Labrador que nous présentons ici s'appuie sur l'examen de 61 diagrammes polliniques de sédiments lacustres provenant de l'ensemble de la forêt boréale du territoire. Nous avons préféré les lacs aux tourbières parce qu'ils sont plus nombreux, et pour nous assurer de comparer des milieux qui enregistrent le dépôt pollinique annuel à peu près de la même façon, sans influence de la végétation tourbicole locale souvent dominée par l'épinette noire (*Picea mariana* (Miller) Britton, Sterns & Poggenburgh). Les données pollenanalytiques furent tirées de la Base de données polliniques et macrofossiles du Québec (ancien laboratoire du premier auteur). La Base de données NEOTOMA (<https://www.neotomadb.org/>) a aussi été utilisée pour des sites additionnels au sein de l'aire d'étude.

### Les principes de l'analyse pollinique

D'emblée, rappelons que l'histoire de la végétation peut être retracée grâce à divers témoins préservés notamment dans les archives naturelles que constituent les sédiments accumulés au fond des lacs ou dans les couches des tourbières (Lavoie, 2008). Ces témoins sont des grains de pollen microscopiques, des restes de végétaux visibles à l'œil nu (macrorestes) et des particules minuscules de charbon de bois qui, chacun à sa manière, s'accumulent régulièrement avec les sédiments depuis des millénaires et s'y conservent indéfiniment. Les restes végétaux (graines, feuilles, écailles de bourgeons, cônes, etc.) livrent des preuves directes de la présence des individus sur ou à proximité des milieux de dépôt, de petits lacs dans notre cas. Le pollen, comme les particules microscopiques de charbon, peut provenir de sources diverses (locales, régionales ou lointaines). L'identification des plantes qui ont produit ces témoins permet de reconstituer l'évolution de la végétation et des feux, mais aussi celle du climat en raison de son lien avec la végétation. Dans la présente synthèse, nous n'aborderons toutefois pas le détail des reconstitutions climatiques; elles sont disponibles dans les Mémoires de recherche forestière que nous avons produits (Fréchette et collab., 2018; sous presse) et leur rendre pleinement justice ici dépasserait largement notre objectif.

Dans le cas des lacs, des carottes sédimentaires sont prélevées dans des tubes d'aluminium de 5 cm de diamètre et longs d'un mètre, successivement enfoncés dans les sédiments jusqu'au refus à la pénétration du carottier. Ce refus se produit généralement dans les dépôts inorganiques silteux, sableux ou caillouteux qui tapissent le fond des bassins. Des échantillons

d'un centimètre cube sont ensuite prélevés au laboratoire à des intervalles variés le long des carottes sédimentaires (tous les 20, 10, 5, 2, 1, 0,5 ou même 0,2 cm) selon la résolution stratigraphique, donc temporelle, souhaitée. Les grains de pollen et autres palynomorphes<sup>1</sup> sont extraits de la gangue sédimentaire par diverses manipulations chimiques et physiques, concentrés par centrifugation, puis montés entre lame et lamelle pour examen et dénombrement au microscope (Fægri et collab., 1989). En général, 500 grains de pollen sont comptés à chacun des niveaux analysés, parmi des dizaines ou des centaines de milliers récupérés à partir du centimètre cube de l'échantillon frais de départ, selon la nature plus ou moins organique des sédiments. Ils sont identifiés à divers niveaux de précision taxonomique, de la famille au genre ou même à l'espèce, comme c'est le cas pour la plupart des arbres, arbrisseaux et arbustes de nos forêts.

Pour chaque niveau sédimentaire analysé, le pourcentage de représentation de chaque taxon est calculé, livrant ainsi le spectre, c'est-à-dire l'assemblage pollinique produit par la végétation et qui s'est déposé au fond du lac à l'époque correspondant à la profondeur analysée. L'ensemble des assemblages (ou spectres) polliniques établis pour une même série verticale d'échantillons constitue le diagramme pollinique du site. Ce diagramme livre donc la séquence des assemblages des grains de pollen qui se sont déposés au fond des lacs au fil du temps. La datation au carbone 14 des sédiments en fournit la chronologie, exprimée ici en années étalonnées avant l'Actuel (Richard, 2007).

La figure 2 livre un exemple de diagramme pollinique sous une forme grandement résumée mais complète pour la Forêt Montmorency. En haut à gauche, il montre bien la sous-représentation pollinique du sapin baumier (*Abies balsamea* (Linnaeus) Miller) et, à l'inverse, la surreprésentation pollinique des bouleaux (*Betula* spp.) par rapport à leur abondance réelle dans le paysage environnant. Au sommet, le diagramme montre aussi que des apports de pollen d'essences aujourd'hui absentes de la végétation régionale sont aussi enregistrés, et qu'il en fut de même dans le passé. Les pourcentages polliniques du pin blanc (*Pinus strobus* Linnaeus) ou de la pruche (*Tsuga canadensis* (Linnaeus) Carrière) sont en effet élevés entre 8 000 et 5 000 ans avant l'Actuel; la question se pose de savoir si ces essences, absentes de nos jours, étaient alors présentes autour du milieu de dépôt. Probablement pas, d'après les valeurs relativement faibles atteintes par ces espèces; ce sont sans doute des apports polliniques de sources lointaines, situées plus au sud. En revanche, le pin gris (*Pinus banksiana* Lambert) était sans doute présent autrefois durant la phase de pessière noire (ZAP-4, figure 2), sachant qu'il était alors mieux représenté par son pollen dans des sites voisins (Colpron-Tremblay et Lavoie, 2010). C'est toute la science du palynologue que d'interpréter correctement les

1. Les palynomorphes sont des microfossiles à parois organiques résistantes d'origine continentale (algues d'eaux douces, spores, pollens) ou marine (chitinozoaires, acritarches, dinoflagellés, etc.), ou correspondant à de fins débris d'organismes divers.

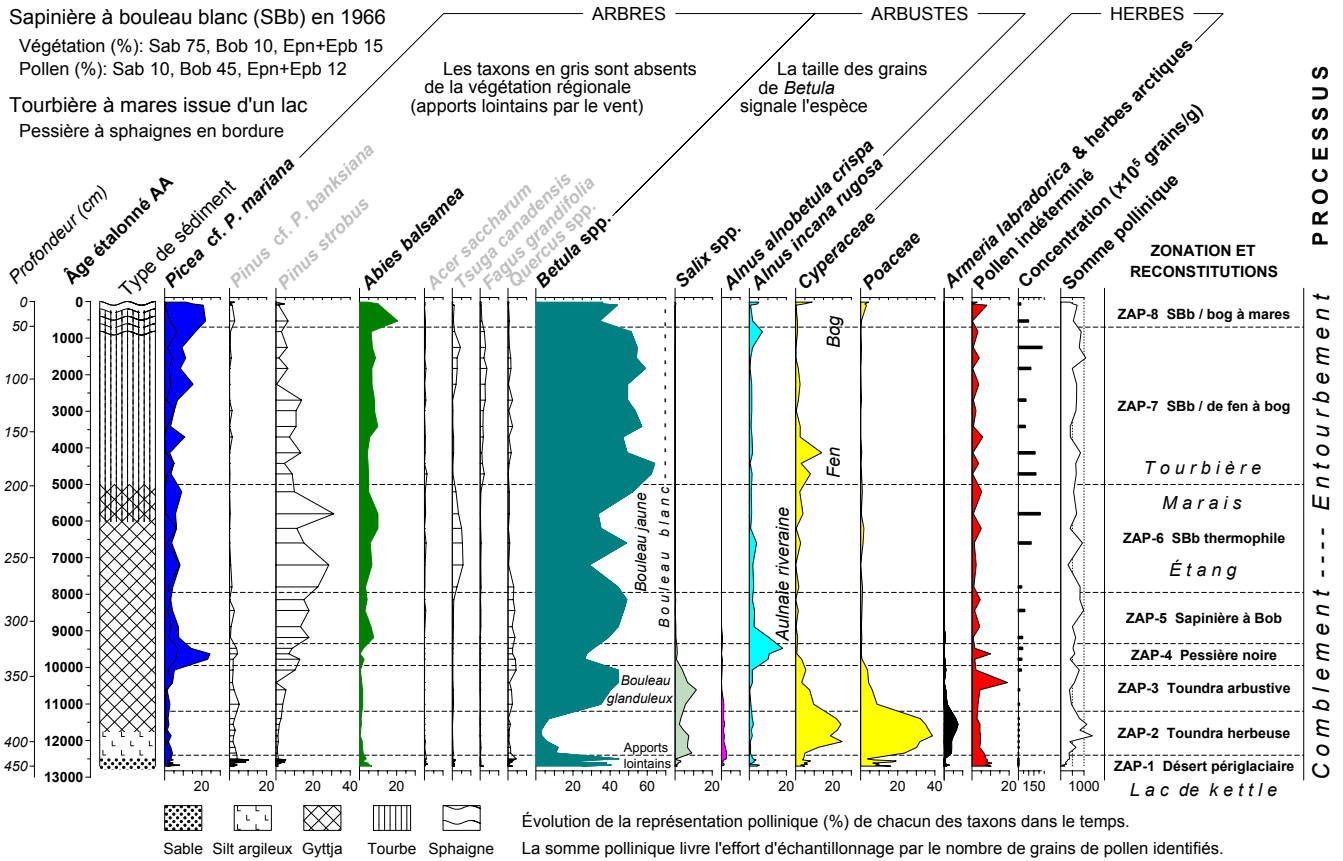


Figure 2. Diagramme simplifié des pourcentages polliniques de la tourbière du ruisseau du lac Joncas à la Forêt Montmorency, dans la réserve faunique des Laurentides (47,26° N. et 71,16° O.; altitude : 747 m). Modifié de Richard (1971) et chronologie révisée grâce à la corrélation palynostratigraphique de sites bien datés (Colpron-Tremblay et Lavoie, 2010; Labelle et Richard, 1981). La composition de la végétation régionale actuelle et sa signature pollinique sont livrées en haut à gauche (Sab : sapin baumier; Bob : bouleau blanc; Epn : épinette noire; Epb : épinette blanche), suivies de la nature du milieu de dépôt. Le type de sédiment accumulé figure dans la colonne de gauche, après les échelles de profondeur et de temps. Quinze palynotaxons (arbres, arbustes, herbes) sont illustrés sur un total de 95 issus de 48 spectres polliniques. Huit zones d'assemblage pollinique (ZAP, à droite de la colonne « Somme pollinique ») furent reconnues, appuyant les reconstitutions de la végétation environnante (en gras) et du milieu local (en italique). SBb : Sapinière à bouleau blanc. Les processus de comblement du plan d'eau initial puis d'entourbement du marais résultant sont indiqués à l'extrême droite.

informations tirées des diagrammes polliniques en s'appuyant sur les connaissances acquises sur la représentation actuelle des plantes par leur pollen, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de leur aire de peuplement. L'analyse des restes de plantes (graines, feuilles, bourgeons, etc.) contenus dans les sédiments, ou dans les couches des tourbières ou de sols localisés à proximité, livre toutefois des preuves directes de la présence des plantes. Ce ne fut pas le cas du pin blanc et de la pruche dans des sites voisins étudiés par Colpron-Tremblay et Lavoie (2010).

Un exposé exhaustif des diverses techniques et méthodes, de même que les détails de l'approche méthodologique menant à la traduction des diagrammes polliniques en séquences chronologiques de végétation sont livrés dans Fréchette et collab. (2018). Nous en résumons ici les traits essentiels.

**La reconstitution de la végétation**

Les assemblages polliniques produits de nos jours par la végétation autour de 1010 sites répartis dans la forêt mixte, la

forêt boréale et la toundra forestière de l'est du Canada, c'est-à-dire ceux enregistrés à la surface des sédiments des lacs, furent d'abord comparés de manière numérique (ressemblances et groupements K-means) et associés au domaine bioclimatique dans lequel chaque site se trouve aujourd'hui (Fréchette et collab., 2018). Ces traitements ont établi et mesuré le degré de similitude ou de différence des assemblages polliniques actuels (récents) de chacun des divers domaines bioclimatiques. L'approche a donc permis d'en circonscrire objectivement la signature pollinique, c'est-à-dire l'assemblage pollinique typique produit par chaque domaine.

Pour ce qui est du passé, les spectres polliniques successifs dans chacun des diagrammes polliniques furent comparés numériquement à l'aide d'un groupement agglomératif hiérarchique (Fréchette et collab., 2018; sous presse) afin de définir des assemblages polliniques homogènes superposés, livrant ainsi pour l'aire d'étude 61 palynostratigraphies distinctes. Cette procédure divise le

diagramme en zones d'assemblages polliniques (ZAP), des assemblages dont les spectres individuels sont plus semblables entre eux qu'avec les autres situés plus haut ou plus bas dans la séquence. Cela permet de reconnaître les changements majeurs dans la représentation pollinique de la végétation au cours du temps et d'en apprécier quantitativement la variabilité et l'ampleur, petites ou grandes. Ces ZAP traduisent une palynostratigraphie propre à chaque site (voir la figure 2, à droite). Nous avons exploré la différenciation spatiale des palynostratigraphies sur l'ensemble du territoire, afin d'y circonscrire des expressions polliniques plus ou moins vastes, plus ou moins anciennes et de plus ou moins longue durée.

Afin de reconstituer l'histoire de la végétation, nous avons adopté la méthode des analogues modernes de Guiot et collab. (1989), qui consiste à rechercher, pour chacun des spectres polliniques des niveaux successifs de chaque site, les 5 meilleurs analogues modernes (spectres, ou assemblages unitaires) dans une base de données des assemblages polliniques actuels de 2 418 sites répartis dans tout l'est de l'Amérique du Nord et au Groenland (Whitmore et collab., 2005). Un tel élargissement géographique par rapport à l'aire d'étude est primordial, car l'assemblage pollinique de la végétation du passé et le climat qu'elle représente peuvent trouver leur contrepartie moderne bien au-delà, et ce, dans toutes les directions. Nous avons eu recours à la signature pollinique des divers domaines et sous-domaines bioclimatiques du Québec pour traduire les résultats en termes de végétation plus ou moins semblable à l'actuelle. Nous avons aussi pris en compte la représentation pollinique différentielle des taxons puisque leur pourcentage correspond rarement à leur abondance réelle sur le terrain. Cette représentation est dérivée des observations du couvert végétal récent touchant la sous-représentation ou la surreprésentation pollinique des essences forestières et autres plantes (Richard, 1968; 1976; voir aussi la figure 2, en haut à gauche du diagramme, pour un exemple de différences entre la végétation et le pollen qu'elle produit).

Nous avons enfin procédé au calcul d'assemblages polliniques par tranches de 1 000 ans, afin de simplifier les résultats pour les comparaisons entre les sites et entre les régions ou secteurs. Les 61 sites ont tous fait l'objet d'une reconstitution de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques.

### **Le modèle de la séquence postglaciaire de végétation : un étalon utile**

La thèse de Richard (1977) prône l'intérêt heuristique (c'est-à-dire propice à des découvertes) que représente la suite latitudinale des domaines actuels de la végétation étalée du nord au sud du Québec, en tant que modèle conceptuel de référence pour l'interprétation des diagrammes polliniques en termes de végétation. Cela permet d'exprimer la séquence des couverts végétaux s'étant établis sur le territoire à la suite du retrait des glaces, dans le même cadre que celui utilisé pour la classification des domaines de végétation du Québec (Grandtner, 1966; Saucier et collab., 2009). En adoptant une telle séquence latitudinale d'unités de végétation comme standard ou étalon

(dans le sens de mètre étalon ou d'étalon-or) auquel comparer la végétation du passé, des séquences temporelles à long terme divergeant de l'étalon de référence peuvent être établies. Les différences peuvent survenir par la composition inusitée des assemblages polliniques (cas de végétation ancienne sans analogue dans la végétation moderne), ou par des inversions dans la séquence attendue des types de végétation, ou encore par des durées anormalement longues ou courtes, voire nulles (effusions et coincements spatiaux et temporels; Dansereau, 1956). La séquence étalon permet donc de raffiner les reconstitutions de la végétation du passé et donne lieu à des découvertes intéressantes et souvent surprenantes.

La procédure quantitative que nous avons utilisée représente une avancée importante par rapport à ce qui a été fait durant les 50 dernières années. En effet, elle permet maintenant de définir et de regrouper plus objectivement les assemblages polliniques récents ou anciens. Elle mesure surtout la similarité ou la différence des signatures polliniques de la végétation du passé, entre elles mais aussi par rapport aux signatures modernes (récentes) de la végétation. Ces évaluations chiffrées renseignent sur le degré d'originalité des couverts végétaux du passé par rapport à ceux qui nous sont contemporains et constituent une réelle percée (Fréchette et collab., 2018; sous presse).

### **L'illustration des résultats**

Ainsi, les diagrammes polliniques révèlent la végétation qui s'est développée autour de chaque site au fil du temps. Les diagrammes de plusieurs sites ont contribué à définir une séquence chronologique moyenne de la végétation pour chaque secteur identifié sur la figure 1. La figure 3 livre ces séquences moyennes pour l'ensemble de la forêt boréale du Québec et du sud du Labrador. Dans les hautes Laurentides, au Témiscouata et en Gaspésie, nous avons toutefois substitué ou inséré la séquence de sites individuels, non illustrés comme tels dans les mémoires (Fréchette et collab., 2018; sous presse). Le but de cet écart dans l'illustration des résultats est de mieux rendre compte de la différenciation spatiale de la couverture végétale des massifs montagneux et de l'arrière-pays du Bas-Saint-Laurent, notamment la longue phase de toundra initiale qui s'est mise en place juste après la déglaciation et les caractères complexes de l'afforestation subséquente. Ce sont : la séquence du centre du massif des Laurentides (MC : une grappe de sites tourbeux fondée sur les diagrammes de Richard, 1971 et de Colpron-Tremblay et Lavoie, 2010); les séquences du Bas-Saint-Laurent (BS : Richard et collab., 1992) et du Témiscouata (TC : Burke et Richard, 2010); la séquence du centre de la Gaspésie (GC : Asnong et Richard, 2003) et enfin la séquence du nord de la Gaspésie (GN : Marcoux et Richard, 1995). Ces séquences individuelles n'en représentent pas moins les divers secteurs auxquels elles sont associées.

À noter que si des traits noirs horizontaux sur les séquences de la figure 3 indiquent l'époque des divers changements de végétation au fil du temps, ces changements furent évidemment graduels, quelque peu étalés de part et

d'autre du moment indiqué. Des changements encore plus graduels sont illustrés par les lignes pointillées en diagonale (figure 3). Lorsque la recherche des meilleurs analogues n'a pas permis de trancher entre deux domaines bioclimatiques semblables aux domaines actuels, alors les deux sont figurés côte à côte dans la même colonne. Mais pour chaque domaine de végétation actuel indiqué au haut des colonnes, il est clair que durant les derniers millénaires, c'est vers lui que converge la végétation, bien que la signature pollinique soit parfois atypique.

Devant l'évidente impossibilité de délimiter précisément l'aire de peuplement de chacun des divers domaines de végétation qui ont existé dans le passé, les cartes de la figure 4 illustrent la végétation de chacun des sites individuels tous

les 2000 ans, de 10 000 ans avant l'Actuel jusque durant les 5 derniers siècles. Ces cartes n'en traduisent pas moins la différenciation spatiale de la couverture végétale au fil du temps.

### Résultats: l'histoire postglaciaire de la végétation

La légende graphique de la figure 3 livre la séquence normalement attendue des types de végétation qui se sont succédé au Québec à la suite de la déglaciation (Richard et Grondin, 2009). Les milieux fraîchement libérés des glaces ont en principe d'abord connu un stade non arboréen. Ce stade comprend le quasi-désert toundrique initial (Td), la toundra herbeuse (Th) et la toundra arbustive (Ta) généralement

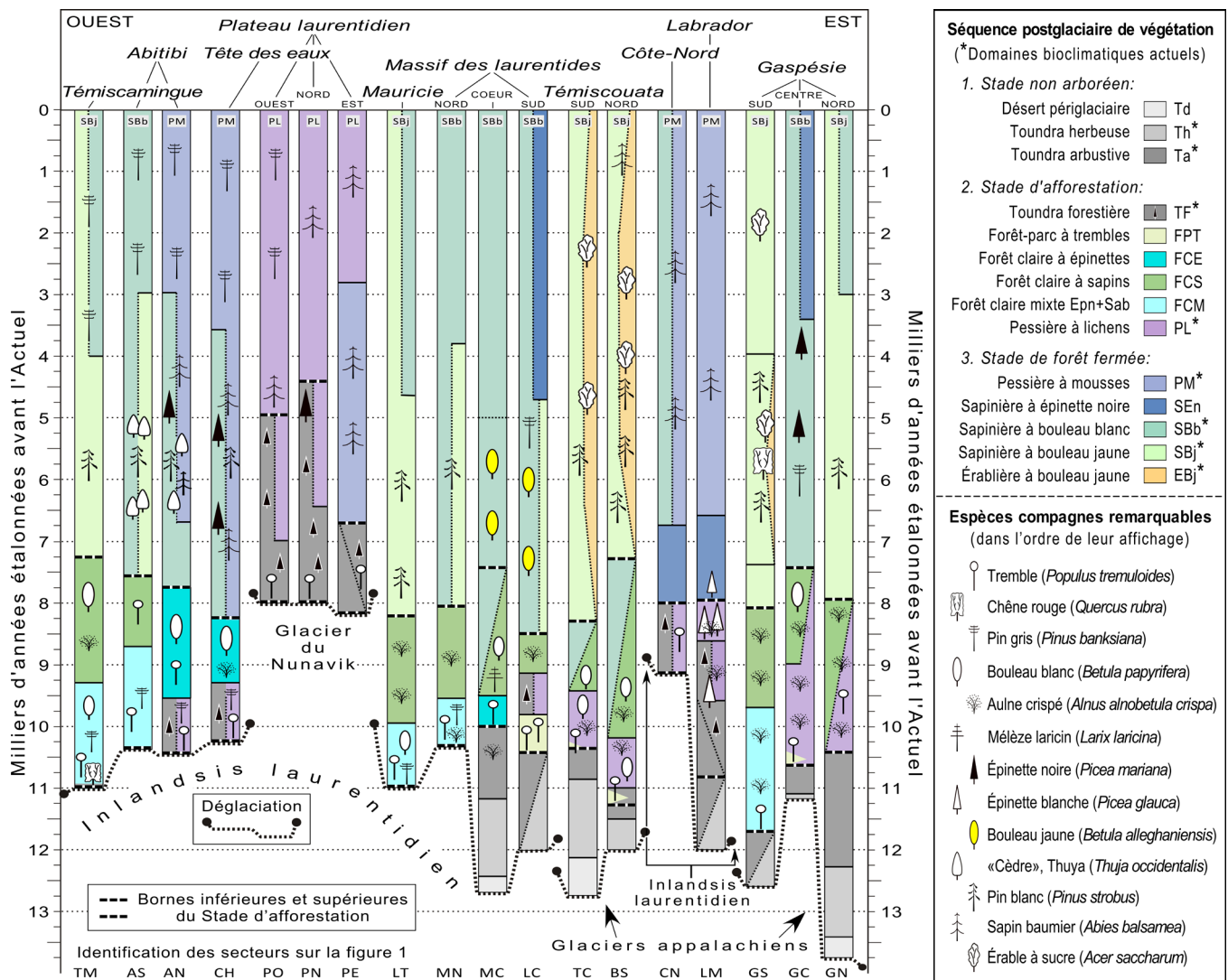


Figure 3. Séquences postglaciaires de la végétation des 18 secteurs (ou régions) de la forêt boréale du Québec et du sud du Labrador qui apparaissent sur la figure 1. Les secteurs sont identifiés au bas de la figure. Ils sont ordonnés d'ouest en est, et le territoire dont ils proviennent est mentionné au haut de la figure. L'espacement plus large entre les séquences distingue les régions. Le sigle du domaine de végétation actuel figure au sommet des séquences. L'échelle de temps est reproduite des deux côtés en milliers d'années avant l'Actuel (soit l'année 1950 de notre ère, par convention). La légende graphique accompagnant la figure livre la séquence étalon des formations végétales (toundras) et des domaines de végétation qui apparaissent sur les colonnes. Elle montre aussi des pictogrammes positionnés à l'époque où certaines essences atteignent une abondance particulièrement élevée dans les paysages végétaux reconstitués.

à bouleau glanduleux (*Betula glandulosa* Michaux). Vient ensuite le stade d'afforestation lors duquel diverses essences forestières se sont établies et des forêts ouvertes se sont formées quand le climat le permettait. La toundra forestière (TF) et la pessière à lichens (PL) actuelles en font partie, mais d'autres types de végétation se sont formés dans le passé : ce sont la forêt-parc à trembles (FPT), la forêt claire à épinettes (FCE), la forêt claire à sapins (FCS) et la forêt claire mixte à épinettes et sapins (FCM). Enfin, un stade de forêt fermée s'est constitué partout où le climat le favorisait. Dans les formations végétales de la toundra et de la toundra forestière contemporaines, la séquence étalon complète ne fut évidemment jamais réalisée. En régions actuellement forestières (figure 1), le stade final de forêts fermées semblables aux domaines bioclimatiques actuels fut atteint, et aussi par des sapinières à épinette noire (SEn) et des intrusions de l'érablière à bouleau jaune (EBj) dans le territoire d'étude.

Durant le stade d'afforestation, la reconnaissance de la pessière à lichens par l'analyse pollinique pose toutefois problème, car nous ne savons pas à ce jour identifier directement des témoins de la couverture lichénique. La signature pollinique actuelle des sites qui se trouvent dans ce domaine bioclimatique permet toutefois de détecter numériquement les assemblages polliniques du passé qui lui ressemblent le plus, et que nous pouvons vraisemblablement lui attribuer. Toutefois, dans l'avenir, la pessière à lichens et la pessière à mousses pourraient être distinguées aussi par leur signature géochimique dans les sédiments des lacs qui s'y trouvent (Bastianelli et collab., 2019). Quant aux diverses forêts claires qui se sont constituées durant l'afforestation (voir la légende graphique de la figure 3), leur identification est fondée sur la représentation pollinique persistante des herbes ou des arbustes, une caractéristique rare en forêt fermée et qui traduit sans aucun doute une sylvie régionale ouverte. Elles s'apparentent le plus souvent à des combinaisons de domaines de végétation reconnus par la recherche numérique des analogues modernes, mais elles n'en constituent pas moins, par leur structure ouverte, des communautés inédites de nos jours.

### **Les paysages végétaux pléniglaciaires**

Au commencement était... la glace. Durant l'ère Quaternaire (les 2,6 derniers millions d'années), les phases glaciaires ont occupé environ 80 % du temps et les phases interglaciaires, environ 20 %. Des glaces couvrant la majeure partie du nord de l'Amérique constituent donc la norme. L'Holocène, c'est-à-dire la période postglaciaire qui couvre les 11 700 dernières années, n'est absolument pas dominante à l'échelle du Quaternaire. Durant les glaciations, la flore du Québec occupait les moyennes latitudes auxquelles elle était naturellement fort bien adaptée en raison de la longue durée de ces périodes. La notion de « refuge glaciaire » est donc inappropriée pour la végétation des périodes glaciaires. Elle ne peut s'appliquer que bien au nord, sur des territoires arctiques au nord des glaces ou sur des nunataks montagnards à l'intérieur de l'aire couverte par les glaces, ou sur les plateaux continentaux

côtiers épargnés par l'inlandsis<sup>2</sup>. Durant les longues périodes glaciaires, la flore ne s'est pas « réfugiée » au sud, puisque c'est sa position normale à l'échelle des temps géologiques. Lors de la dernière période glaciaire, l'inlandsis s'étalait jusqu'à la marge du plateau continental, au-delà des côtes du Labrador, de Terre-Neuve, de la Nouvelle-Écosse et du Maine.

Au Pléniglaciaire, atteint il y a environ 25 000 ans (Dalton et collab., 2020), les données paléocologiques indiquent que des formations conifériennes à épinettes et pins se déployaient bel et bien au sud des glaces, mais la forêt boréale telle que nous la connaissons n'existait alors pas. Les foyers d'abondance des arbres de nos forêts se situaient un peu partout au sud des glaces, mais ils y constituaient des types de végétation fort différents. Des pessières ouvertes abritaient des frênes (*Fraxinus* spp.), des chênes (*Quercus* spp.) et de l'ostryer (*Ostrya* spp.) en quantité, sous des climats plus froids et plus secs surtout en bordure des glaces (Richard, 2016). La température moyenne du globe était alors d'environ 5 °C plus basse qu'aujourd'hui, et le niveau marin mondial, environ 120 m sous le niveau actuel, en raison de l'eau stockée sous forme de glace dans les inlandsis du monde entier.

L'inlandsis laurentidien a commencé à se retirer de sa position maximale au sud des Grands Lacs et à la latitude de New York il y a environ 20 000 ans. Son rythme de recul vers le nord fut très variable. Les plantes ont alors colonisé les terres nouvelles fraîchement déglacées, un phénomène qui ne s'était pas produit avec cette ampleur depuis 120 000 ans, c'est-à-dire lors du début du précédent interglaciaire. Enrichis par la farine de roche produite par l'érosion glaciaire, ces milieux nouveaux étaient particulièrement fertiles. Les plantes herbacées, les arbustes puis les arbres s'y déployèrent successivement ou dans le désordre. L'épinette noire fut parmi les premiers arbres à s'installer. Dominante au début dans la région des Grands Lacs et dans le sud de la Nouvelle-Angleterre, elle s'y fit plus rare durant le retrait des glaces en raison de la compétition engendrée par l'arrivée d'autres arbres mieux adaptés au climat qui se réchauffait, malgré quelques épisodes de retour au froid.

La figure 1 rend compte de la chronologie du retrait des glaces au Québec et aux alentours. Nous prendrons le fil de l'histoire quand elles se retirèrent de notre aire d'étude, à savoir les domaines bioclimatiques modernes des sapinières et des pessières du Québec et du sud du Labrador.

### **L'établissement des premières plantes**

C'est la déglaciation locale qui déclenche la colonisation des terres par les plantes. Un coup d'œil aux figures 1 et 3 permet de constater qu'elle s'est produite à des époques bien différentes dans l'aire d'étude. Remontant à près de 14 000 ans sur la côte gaspésienne septentrionale (secteur GN), elle s'est effectuée il y a 7 500 ans à peine sur le Plateau laurentidien, dans le domaine de la pessière à lichens (secteurs PO, PN et PE). À l'ouest, elle est survenue il y a 11 000 ans au Témiscamingue, dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune (secteur TM).

2. Un inlandsis est une masse de glace d'épaisseur importante s'étendant sur une vaste région terrestre.



En Gaspésie (secteurs GS, GC et GN) et au Bas-Saint-Laurent (BS et TC), c'est la fonte progressive des glaciers appalachiens détachés de l'Inlandsis laurentidien qui a diversement libéré les territoires au fil du temps. Des glaces étaient encore présentes il y a 10 000 ans sur les hauteurs gaspésiennes (GC; Richard et collab., 1997).

Un grand contraste a toujours distingué l'est et l'ouest de la Boréale, tant lors de la déglaciation que par la suite. En effet, un climat maritime règne autour du golfe du Saint-Laurent et du bas estuaire, tandis qu'un climat continental caractérise la façade occidentale de la Boréale malgré la présence de la baie de James et de la mer d'Hudson plus au nord. Contrairement à l'est toujours sous influence maritime depuis 13 000 ans, l'inlandsis s'est attardé jusque vers 11 000 ans AA dans l'ouest de notre aire d'étude. Puis, il y a 8 500 ans, vint l'épisode du lac glaciaire Ojibouai responsable de la formation de la grande ceinture d'argile de l'Abitibi. Les basses terres de la Jamésie furent par la suite envahies par la Mer de Tyrrell.

Les inlandsis et les glaciers sont chapeautés par une masse d'air froid et sec qui, en raison de sa densité, s'écoule violemment tout autour de manière anticyclonique (c'est-à-dire en sens horaire dans l'hémisphère Nord). Ces vents glaciaux furent, entre autres, responsables du façonnement de dunes dans les basses terres laurentiennes il y a environ 10 000 ans, au nord de Trois-Rivières et dans Lotbinière (Filion, 1987). En Boréale orientale (figure 3, secteurs PN, PE et MC à GN), ces vents ont longtemps entretenu des paysages de toundra, notamment sur les côtes gaspésiennes et au Labrador, interdisant la présence des arbres durant des millénaires par endroits (figure 3, secteurs GN et LM). La colonisation végétale s'est d'abord effectuée par le stade non arboréen. Des toundras diverses et variées, entretenues par des climats froids, s'y sont succédé parfois durant des millénaires (figure 3, secteurs MC, LC, BS, TC, GN, GC, GS et LM). Dans ces régions, le climat engendré par la persistance des glaces ou par l'altitude fut donc durant longtemps hostile. Ces toundras sont en quelque sorte des cas d'effusion temporelle des stades non arboréens (Dansereau, 1956). La Côte-Nord (secteur CN) fait toutefois exception en raison de la déglaciation régionale tardive (figures 1 et 3).

Il en fut tout autrement en Boréale occidentale (figure 3, secteurs TM à MN sauf PN et PE). En effet, au sein des actuels domaines bioclimatiques des sapinières et des pessières, le Témiscamingue, l'Abitibi, la région de Chibougamau à la tête des eaux, la Mauricie et l'ouest du massif des Laurentides furent rapidement colonisés par des arbres, notamment par le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michaux) ou le pin gris, même si une toundra arbustive pouvait perdurer, notamment tard dans le nord du Plateau laurentidien, dans la région à l'est du réservoir Caniapiscou (figure 1, secteur PE). L'afforestation y fut donc rapide, les stades de la toundra désertique périglaciaire et de la toundra herbeuse de la séquence étalon y étant absents, coïncés (au sens de Dansereau 1956).

C'est qu'en Boréale occidentale, les vents froids en provenance de l'inlandsis étaient affaiblis car confrontés à la circulation atmosphérique méridienne, c'est-à-dire celle de la masse d'air du Pacifique, modifiée, asséchée et réchauffée par son passage sur le continent. Il y a 11 000 ans, le front de l'inlandsis courait en effet vers le nord-ouest, du nord des Grands Lacs jusqu'au Grand lac des Esclaves dans les Territoires du Nord-Ouest. Ce flanc occidental du grand glacier faisait donc face au flux d'air venant de l'ouest. Il y a 8 000 ans, le Glacier du Nouveau-Québec (ou plus justement, le Glacier du Nunavik) recevait toujours cette masse d'air de plein fouet. En conséquence, la toundra arbustive qui y régnait le plus souvent hébergeait aussi du peuplier faux-tremble et même, un peu plus tard, de l'épinette noire et du pin gris. Sur son flanc oriental, toutefois, le Glacier du Nunavik générait des vents froids qui ont longtemps entretenu une toundra, et ce, jusque vers 6 000 ans AA dans l'arrière-pays du Labrador, entre Nain et Makkovik.

Telles furent les conditions d'établissement des premières plantes et des premiers arbres en Boréale québécoise et labradoréenne, modelées par la situation paléogéographique dans le temps. Des sites du Témiscamingue, juste au sud de la Boréale, offrent toutefois un cas extrême qu'il faut examiner (Richard et Larouche, 1989). Il s'agit de petits lacs situés près du sommet des collines qui furent au départ des îles dans les eaux froides du lac proglaciaire Barlow, un précurseur méridional du lac glaciaire Ojibouai. L'analyse pollinique des tout premiers sédiments accumulés dans les lacs, à partir d'environ 11 000 ans, révèle la présence du pollen d'arbres de la pessière et de la sapinière, mais aussi de plantes de toundra comme le saule herbacé (*Salix herbacea* Linnaeus), la dryade à feuilles entières (*Dryas integrifolia* Vahl), le silène acaule (*Silene acaulis* (Linnaeus) Jacquin) et l'oseille arctique (*Oxyria digyna* (Linnaeus) Hill). Les macrorestes végétaux corroborent cet assemblage pollinique inusité non seulement par des restes de ces plantes de toundra, mais aussi par des graines de mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch) et d'épinette noire, de bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marshall), de pin gris, de sapin baumier, de peuplier faux-tremble et de peuplier baumier (*Populus balsamifera* Linnaeus). Nous n'avons pas trouvé de glands ou de feuilles de chêne, ni de macrorestes de l'orme d'Amérique (*Ulmus americana* Linnaeus), du frêne noir (*Fraxinus nigra* Marshall) ou de l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* (Miller) K. Koch), mais leur pollen est tellement abondant que ces essences devaient alors aussi faire partie du cortège d'espèces. Un mélange bien étrange qui témoigne d'apports de semences par des vents venus du sud, ou peut-être par les canards et les oies dans leurs déplacements. C'est un cas de compénétration des stades de développement postglaciaire du couvert végétal sur les îles du lac proglaciaire Barlow.

### **La constitution des premières forêts**

Le stade de l'afforestation couvre la période qui s'étend de l'arrivée des premiers arbres jusqu'à l'atteinte du stade de forêt fermée. Sa durée varie beaucoup d'une région

à l'autre (figure 3). Elle est la plus courte sur la Côte-Nord (secteur CN) et sur la façade orientale du Plateau laurentidien (secteur PE); elle y couvre toutefois plus de 3 millénaires dans les secteurs PN et PO avant d'atteindre le stade ultime régional de la pessière à lichens il y a 5 000 à 4 500 ans. C'est au Bas-Saint-Laurent (secteur BS) que la durée de l'afforestation est la plus longue, atteignant 4 000 ans.

Ce sont presque toutes les essences de la forêt boréale qui ont migré en ordre dispersé dans les paysages durant l'afforestation. L'épinette noire et le sapin baumier, seuls ou en combinaison, ont le plus souvent dominé des forêts claires, ouvertes, au parterre occupé par des herbes et des arbustes buissonnants. L'aulne crispé (*Alnus alnobetula* subsp. *crispa* (Aiton) Raus) y a joué un rôle important, notamment en Gaspésie (figure 3, secteurs GN, GC, GS), en raison de conditions climatiques plus longtemps sévères, mais favorables à son développement (Fréchette et collab., sous presse). C'est, dans cette région, un cas patent d'effusion temporelle d'une espèce (Dansereau, 1956).

D'après leur signature pollinique et les résultats de la recherche des meilleurs analogues, ces communautés correspondraient souvent à des versions ouvertes des assemblages polliniques modernes de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses, ou des combinaisons des deux. Ces forêts claires sont donc des paysages végétaux sans analogue moderne à l'échelle des domaines bioclimatiques. La forêt claire à sapin (secteurs TM, AS, LT à BS et GS, GC et GN) et la forêt-parc à peuplier faux-tremble (LC, TC, BS et GC) en sont sans doute les exemples les plus frappants. Cette dernière est souvent éphémère, mais elle est bien développée dans les Laurentides charlevoisiennes (LC) où elle représente un autre cas d'effusion temporelle. Le climat sec qui a suivi le retrait des glaces est sans doute le principal facteur expliquant ces couverts forestiers ouverts. Partout, l'abondance d'essences de début de succession et la présence importante des charbons de bois dans les sédiments suggèrent d'ailleurs une forte activité des feux (Carcaillet et Richard, 2000).

La fin de l'afforestation est survenue surtout entre 8 500 et 7 500 ans avant nos jours dans l'ensemble du territoire, en réponse à l'instauration d'un climat plus chaud et surtout plus humide, sauf sur le Plateau laurentidien, où les conditions sont restées longtemps plus rigoureuses.

### **La diversité maximale des forêts**

L'afforestation terminée, des forêts semblables à celles des domaines bioclimatiques actuels se sont mises en place. Ce furent essentiellement des sapinières à bouleau jaune et des sapinières à bouleau blanc, sauf sur le Plateau laurentidien, sur la Côte-Nord et au Labrador (figure 3).

Dans l'est du Plateau laurentidien près de la frontière du Labrador (secteur PE), la pessière à mousses s'établissait dès 6 750 ans AA, ce qui représente déjà la structure forestière maximale pour la région. Mais à la même époque, au nord et à l'ouest de ce secteur, le couvert végétal des secteurs PN et PO tardait à s'établir en pessière à lichens et les paysages

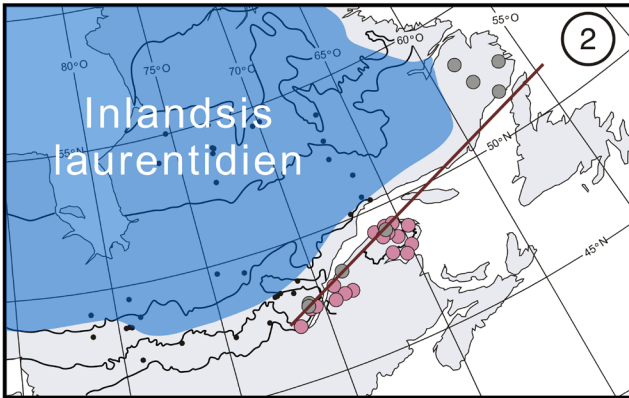
entre 7 000 et 5 000 ans AA devaient être semblables à ceux de l'actuelle toundra forestière (figures 1 et 3).

Sur la Côte-Nord (CN) et au sud-est du Labrador (LM), ce sont des sapinières à épinette noire qui se sont d'abord constituées il y a 8 000 ans. L'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) s'était fortement multipliée au Labrador dès 9 500 ans AA, durant l'afforestation, sans doute en raison de son adaptation au climat maritime frais. Elle a toutefois décliné vers 8 000 ans en raison de l'accumulation de la matière humique dans les horizons superficiels des sols, ce qui aurait entraîné le développement de podzols et favorisé l'épinette noire et le sapin baumier (Engstrom et Hansen, 1985). C'est un cas de régression qui va jusqu'à l'inversion de la séquence étalon, progressive, de développement postglaciaire de la végétation.

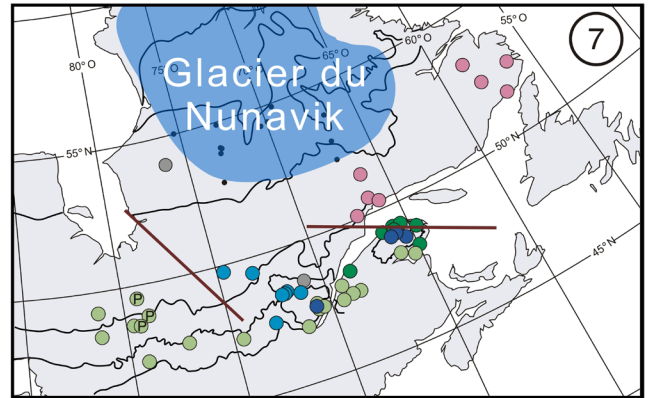
À l'échelle des domaines bioclimatiques, de nombreux changements de végétation se sont produits entre 8 000 à 7 000 ans AA et, par la suite, entre 4 000 et 3 000 ans AA (figure 3). Autour de 7 500 ans AA, le changement consiste dans le passage à des sylves fermées, plus thermophiles, reflétant un climat plus clément. C'est l'instauration de la période de l'optimum climatique, qu'on appelle aussi l'Hypsithermique. Autour de 3 500 ans AA, c'est l'inverse, car le climat s'est généralement détérioré par un refroidissement accompagné d'une augmentation des précipitations et des épisodes orageux générant foudre et feux de forêt. Cette dernière période est appelée le Catathermique ou encore, le Néoglaciare. Le caractère asynchrone des changements de la végétation autour de ces deux charnières temporelles traduit sans doute la résilience des peuplements devant les changements des conditions climatiques régionales. On peut considérer que l'Hypsithermique est une période de progression des espèces, comparativement à une période de régression pour le Néoglaciare (Payette, 1993; Richard, 1993). Durant cette dernière période, l'aire de certaines espèces se serait réduite, créant ainsi des populations marginales, comme ce fut le cas pour le thuya occidental (*Thuja occidentalis* Linnaeus), par exemple (Jules et collab., 2018; Lavoie et Filion, 2001).

Un maximum de diversité est ainsi généralement atteint entre 7 500 et 4 000 ans AA. Le phénomène est illustré sur la figure 3 par l'adjonction de pictogrammes de diverses essences relativement thermophiles sur la trame des domaines bioclimatiques ou de leurs combinaisons. Ces pictogrammes traduisent une abondance accrue de diverses essences aux époques considérées, essences qui étaient auparavant plus rares. C'est le cas du pin blanc, tant dans l'ouest de la Boréale (Terasmae et Anderson, 1970) qu'en Mauricie ou dans les Appalaches. C'est aussi le cas du thuya occidental en Abitibi. Favorisé par la richesse en éléments nutritifs, il fut tellement abondant dans la grande ceinture d'argile il y a 6 500 à 5 000 ans AA, tant côté ontarien que québécois, qu'il est permis d'envisager que les domaines bioclimatiques d'alors aient pu être qualifiés de cédrière à sapin et bouleau blanc ou de cédrière à sapin et bouleau jaune, selon la latitude. Il s'agirait là d'un exemple extrême d'effusion d'une espèce dans l'espace et dans la durée.

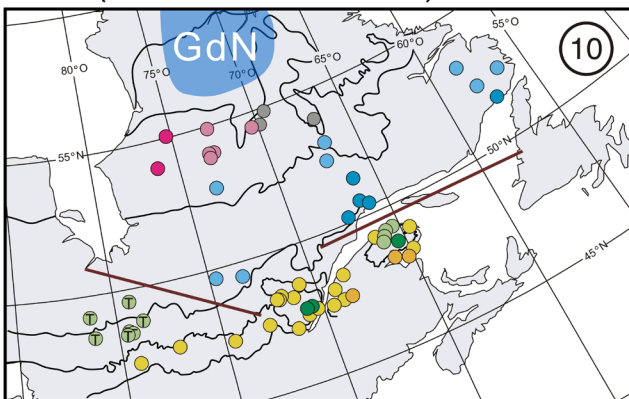
10 000 (10 500 - 9500 ans AA)



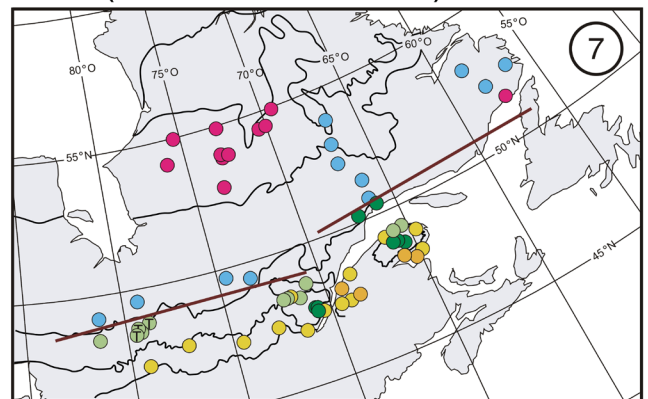
8000 (8500 - 7500 ans AA)



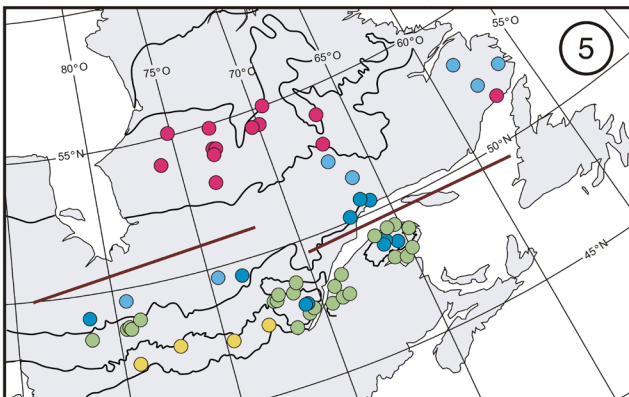
6000 (6500 - 5500 ans AA)



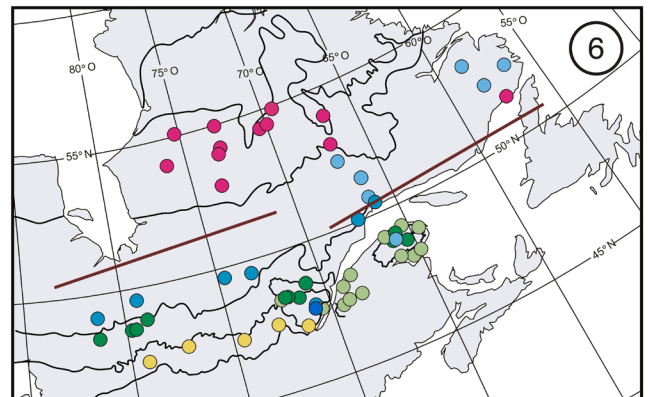
4000 (4500 - 3500 ans AA)



2000 (2500 - 1500 ans AA)



Actuel (500 - 0 ans AA)



- Ta/TF      ● PL      ● PM/SBb      ● SBb      ● T SBb/SBj - *Thuja*      ● SBj
- TF/PL      ● PM      ● SEn      ● SBb/SBj      ● P SBb/SBj - *Populus*      ● SBj/EBj

Figure 4. Végétation des sites tous les 2000 ans, de 10000 ans avant l'Actuel (AA) jusqu'à nos jours, selon une fenêtre temporelle de 1000 ans sauf pour l'Actuel (5 siècles). Le nombre de domaines de végétation (et leurs combinaisons) reconnus pour chaque époque est affiché au coin supérieur droit, illustrant ainsi la diversité de la couverture végétale au fil du temps. Les sigles des types de végétation sont définis à la figure 3. Des types de végétation sans analogue moderne à dominance de *Thuja* ou de *Populus* sont indiqués sur les cartes de 8000, de 6000 et de 4000 AA. Le trait marron indique l'orientation changeante de gradients climatiquement induits dans l'espace géographique, pour l'ouest et l'est respectivement. Les limites des domaines bioclimatiques actuels (voir la figure 1) sont indiquées par un trait noir.

Au cœur des Laurentides (figure 3, secteur MC), le bouleau jaune s'est sans doute installé sur les bas de pentes dans les abords méridionaux du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. La grande taille d'une portion des grains de pollen de bouleau soutient cette hypothèse (figure 2). Dans le sud de la Gaspésie (GS), le chêne rouge (*Quercus rubra* Linnaeus) et l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) se sont développés au sein de la sapinière à bouleau jaune; on en trouve encore aujourd'hui des peuplements tout autour de la péninsule, jusqu'à Forillon. Au Bas-Saint-Laurent (secteurs BS et TC), c'est au début de cette période que se sont créées les communautés d'érable à sucre qu'on y trouve encore aujourd'hui, surtout au sommet des basses collines. Dans la région de Chibougamau à la tête des eaux (secteur CH), sur la Côte-Nord (CN) ainsi qu'au Labrador (LM), ce sont les populations de sapin qui se sont multipliées dans les pessières vers la fin de cette période.

### **Vers les forêts modernes**

Il y a environ 3 500 ans, avec le retour à des conditions climatiques plus fraîches et plus humides, les espèces relativement thermophiles ont décliné ou sont devenues rares dans les domaines bioclimatiques des sapinières et des pessières. Le phénomène de régression s'est exprimé. Pour sa part, l'abondance du sapin baumier a nettement diminué dans les domaines de la pessière à lichens et de la pessière à mousses sauf à l'est, sur la Côte-Nord et au Labrador. À l'opposé, le pin gris a gagné de l'importance dans les sous-domaines occidentaux, fort probablement sous l'effet des feux. Ces caractères sont encore manifestes dans la couverture végétale actuelle des pessières (Couillard et collab., 2019; Grondin et collab., 2007).

Par ailleurs, depuis 4 000 ans, plusieurs domaines de végétation ont aussi régressé, le phénomène s'exprimant par une recrudescence des sapinières à bouleau blanc au Témiscamingue (secteur TM), en Abitibi (AN et AS) et en Mauricie (LT) et par l'adjonction de sapinières à épinette noire à la marge orientale du massif des Laurentides (LC) et dans le centre de la Gaspésie (GC) (figure 3). Au Témiscouata (TC), la proportion des peuplements d'érable à sucre a décliné depuis 2 500 ans. Dans ce processus de régression, le nord de l'Abitibi a carrément changé de domaine bioclimatique, passant à celui de la pessière à mousses. Cette réaction régressive s'est manifestée aussi dans la région de Chibougamau, à la tête des eaux (secteur CH), et dans l'est du Plateau laurentidien (PE) où la pessière à mousses fut remplacée par la pessière à lichens durant les 3 000 dernières années. C'est également durant cette période que s'est lentement constituée la pessière à lichens et la toundra forestière, sous l'action répétée des feux (Asselin et Payette, 2005). En définitive, le phénomène de la régression a été observé dans toute la Boréale québécoise et labradoréenne.

### **Des gradients dans l'espace et le temps**

La différenciation spatiale de la couverture végétale de la Boréale au fil du temps ressort manifestement de l'observation de la figure 3. Toutefois, la figure 4 en livre une

représentation cartographique très parlante, tous les 2 000 ans. On y trouve aussi la disposition des glaces d'inlandsis et des glaciers résiduels, ce qui enrichit le contexte paléogéographique déjà évoqué par les isochrones de la figure 1.

Douze domaines bioclimatiques ou combinaisons figurent dans la légende graphique de la figure 4. C'est déjà un renseignement précieux, car le nombre d'entités identifiées numériquement est bien supérieur aux 4 domaines bioclimatiques reconnus actuellement pour les pessières et les sapinières de l'aire d'étude (figure 1), et ce nombre varie d'un millénaire à l'autre (voir les nombres encerclés en haut à droite des cartes). À noter toutefois que les unités mixtes TF/PL et PM/SBb de ces cartes représentent ici l'expression numérique de plusieurs des forêts claires identifiées dans la légende de la figure 3. Durant le 10<sup>e</sup> millénaire, ce nombre n'est que de 2; il grimpe à 7 au 8<sup>e</sup> millénaire et atteint un maximum de 10 au 6<sup>e</sup> millénaire. Il baisse à 7 entités au 4<sup>e</sup> millénaire puis à 5 pour le 2<sup>e</sup> millénaire et remonte à 6 pour l'Actuel, si on ajoute un domaine de la sapinière à épinette noire essentiellement montagnard (Grandtner, 1966). C'est là une démonstration objective de la diversité maximale atteinte lors de l'Hypsithermique.

Au 10<sup>e</sup> millénaire, l'Inlandsis laurentidien exerce encore un contrôle puissant sur le climat, et le gradient climatique est parallèle à son front en recul. Au 8<sup>e</sup> millénaire, c'est un climat contrasté qui affecte l'ouest et l'est du territoire, comme l'illustre la différence de pente des gradients respectifs. Le recul des glaces et l'amélioration climatique favorisent une diversification des domaines de végétation et l'existence d'un domaine inédit à peuplier faux-tremble en Abitibi. Vers 6 000 ans AA, la pente entre les deux gradients se réduit, et ce sont les sapinières à bouleau blanc qui sont les plus variées dans l'ouest du territoire, avec leur composante de thuya occidental. Nous sommes alors durant l'Hypsithermique; la majorité des sites qui se trouvent dans la portion sud de l'aire d'étude appartiennent au domaine de la sapinière à bouleau jaune.

Depuis le 4<sup>e</sup> millénaire avant l'Actuel, le contraste climatique s'oriente de plus en plus de manière à départager d'abord les forêts fermées au sud de celles ouvertes au nord, sauf pour la Côte-Nord qui jouit d'un climat maritime adoucissant, tout en créant des conditions plus semblables aux deux extrémités du territoire. Au 2<sup>e</sup> millénaire, plusieurs sites précédemment caractérisés par une végétation de sapinière à bouleau jaune se sont transformés en une végétation intermédiaire entre la sapinière à bouleau jaune et la sapinière à bouleau blanc. Ces changements sont associés aux phénomènes de régression actifs au Néoglaciale. Il y a 500 ans, les sites appartiennent tous aux domaines bioclimatiques actuels.

Comme il fallait s'y attendre malgré l'agrégation des données de plusieurs sites par tranches successives d'un millier d'années, le massif des Laurentides, tout comme les montagnes de la Gaspésie perchées sur des plateaux étagés, ont toujours constitué des pôles majeurs de différenciation spatiale de la couverture végétale en raison du gradient climatique que ces reliefs génèrent (figure 4).

## Discussion

La couverture végétale du passé n'était pas moins diversifiée qu'actuellement. Nos reconstitutions par domaine bioclimatique s'expriment forcément à une échelle régionale et masquent nécessairement la différenciation des paysages. Sans aucun doute, le relief, l'exposition, les sols, les microclimats, les feux et les épidémies d'insectes phytophages créaient des mosaïques aussi complexes que de nos jours sur l'ensemble du territoire. Malgré l'apport inestimable de l'identification et de la datation des charbons de bois enfouis dans les sols (Couillard et collab., 2016), les recherches paléoécologiques sont encore largement insuffisantes pour reconstituer le grain de la couverture végétale tel qu'illustré par les sères physiographiques des *Guides de reconnaissance des types écologiques* produits par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs pour chaque région écologique du Québec. S'agissant des résultats de l'analyse pollinique, on ne peut donc que transférer au passé les connaissances tirées du présent et imaginer les plantes des milieux secs dans des stations sèches ou rocheuses, les plantes des milieux humides dans les endroits humides, les plantes des milieux bien drainés à mi-pente des reliefs, etc. En outre, l'analyse pollinique ainsi que la plupart des autres méthodes paléoécologiques appliquées à la reconstitution de la végétation ne reconnaissent au mieux que quelques centaines de taxons parmi les milliers qui constituent la flore québécoise. En conséquence, c'est par analogie réductrice que l'on peut associer aux domaines de végétation du passé l'entière des cortèges floristiques qui caractérisent les domaines bioclimatiques de nos jours. C'est une extrapolation pour le moins osée, mais répandue en paléoécologie. C'est aussi manifestement une hypothèse qu'il convient de vérifier chaque fois que l'occasion se présente.

L'usage du modèle conceptuel de la séquence étalon illustré par la légende graphique de la figure 3 n'en a pas moins permis d'identifier, dans l'histoire postglaciaire des pessières et des sapinières du territoire, des cas de coïncement ou d'effusion de certains stades, ou ceux de divers types de végétation ou de certaines espèces d'arbres ou d'arbustes. Le modèle a aussi permis de révéler la tendance générale à la progression dans la diversité du couvert végétal, progression qui fut suivie d'une régression.

Le présent est la clé du passé. C'est le principe de l'actualisme qu'appliquent les géologues et les géomorphologues depuis Charles Lyell (1797-1875). Pourtant, l'étude du passé révèle aussi des phénomènes qui éclairent le présent.

Le cèdre ou thuya occidental était beaucoup plus abondant dans le passé que de nos jours, comme nous l'avons vu précédemment. Le peuplier faux-tremble n'est pas en reste. Sur le piémont des Laurentides et en quelques endroits en Gaspésie, sa représentation pollinique est énorme durant le stade d'afforestation, au point où nous proposons qu'il ait constitué une forêt-parc, à l'instar de l'*Aspen Parkland* qui ourle le nord des Prairies canadiennes au contact de la forêt boréale (Baldwin et collab., 2018). Mais ce qui est fascinant, c'est de constater que souvent le tremble domine durant de longues

périodes qui peuvent atteindre 500 à 1 500 ans sur les marges méridionales des Laurentides, dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Or, il s'agit d'une essence à courte longévité et qui supporte mal la compétition, une espèce forestière dite de transition, censée être vouée à disparaître localement durant le processus de la succession végétale forestière. Quelles sont donc les conditions lui ayant permis de perdurer si longtemps et de façon si abondante à certains endroits dans le passé? L'hypothèse actuellement la plus plausible est liée à une fréquence élevée des feux de forêt sous un climat relativement sec. Le tremble se serait perpétué par drageonnement comme essence dominante, et ce, en présence de ses compétiteurs dont on trouve d'ailleurs le pollen et les graines dans les sédiments. Encore une fois, le passé éclaire le présent en révélant un comportement inusité du peuplier faux-tremble, peu longévif sur de longues périodes; c'est toutefois un comportement assez semblable à celui qu'il présente dans les montagnes plus arides de l'ouest de l'Amérique du Nord (Morris et collab., 2019).

## Conclusion

Le dernier mot n'est pas dit sur l'histoire postglaciaire de la forêt boréale du Québec. De vastes territoires restent encore inexplorés (figure 1), que ce soit par l'analyse pollinique ou par toute autre méthode de reconstitution paléoécologique. Les informations à l'échelle des nombreuses régions écologiques des divers domaines et sous-domaines de végétation de la forêt boréale font encore cruellement défaut. Parmi les thèmes de recherche liés au fonctionnement de la forêt boréale, l'incidence des feux fait l'objet de nombreuses recherches depuis les travaux de Carcaillet et Richard (2000). Des informations locales précises peuvent aussi être tirées de l'étude des charbons de bois enfouis dans les sols (Couillard et collab., 2016). Un autre thème d'importance porte sur l'histoire des épidémies, notamment celles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clemens). Navarro et collab. (2018a; 2018b) ont pu en reconstituer 10 000 ans d'histoire grâce à l'identification et au dénombrement des écailles des ailes du papillon préservées dans les sédiments du lac Flévy, à la Forêt expérimentale de l'Université du Québec à Chicoutimi. Manifestement, il reste du pain sur la planche pour les recherches paléoécologiques.

De nombreuses questions restent en suspens, comme l'origine des enclaves d'érablières à érable à sucre ou à érable rouge (*Acer rubrum* Linnaeus) trouvées souvent loin à l'intérieur du domaine de la sapinière à bouleau jaune ou même dans celui de la sapinière à bouleau blanc (Paillard, 2018). Quels sont l'origine et l'âge de la mise en place de ces peuplements? Leur abondance a-t-elle varié? Quelle est leur dynamique actuelle? Quel sera leur sort dans la perspective des changements climatiques anticipés pour la Boréale? Ces communautés pourraient-elles coloniser plus de territoire localement, ou même étendre leur aire de peuplement vers le nord?

Quel sera le sort de la forêt boréale elle-même? Comment les changements climatiques affecteront-ils sa composition spécifique, sa diversité, son fonctionnement, la densité et la productivité des peuplements qu'elle abrite,

le régime des perturbations qui s'y produisent? La limite septentrionale des forêts fermées se déplacera-t-elle plus loin au nord? La pessière à lichens sera-t-elle envahie par la pessière à mousses? Déjà, le couvert arbustif de la toundra forestière se développe énormément en étendue et en luxuriance dans la région de Kangiqsualujuaq, par exemple (Tremblay et collab., 2012). La toundra elle-même connaîtra-t-elle un envahissement par les arbres? Où se situera la limite des arbres, elle dont le passé vient à peine d'être dévoilé (Gajewski, 2019; Payette et Lavoie, 1994)? Les récentes études portant sur le legs génétique des changements climatiques du passé (de Lafontaine et collab., 2018) prendront toute leur importance dans l'évaluation du potentiel des arbres pour la conquête de nouveaux espaces à la limite nord de leur aire de peuplement, ou pour le maintien de leurs populations à la limite sud de leur aire, en réaction aux changements climatiques en cours et à venir. Une approche paléocéologique portant sur des archives naturelles variées (sédiments des lacs, couches des tourbières ou bourbiers de sous-bois, sols) et faisant intervenir de multiples méthodes d'investigation permet d'espérer une nette amélioration de nos connaissances.

La forêt boréale telle qu'on la connaît aujourd'hui résulte manifestement d'une longue et lente évolution bien que dans sa forme actuelle, elle soit finalement assez récente: 4000 ans tout au plus. Cette évolution s'est produite dans des contextes environnementaux très divers, et surtout bien différents des conditions historiques, ou même celles des derniers millénaires. L'histoire postglaciaire de la Boréale québécoise et labradoréenne offre une perspective remontant à ses origines et fournit des exemples de la réponse de la végétation aux changements profonds qu'a connus le climat dans le passé. S'agissant de prévoir, ou au moins d'anticiper ses réactions futures, il est sans doute utile de constater que c'est la période de l'établissement des premiers arbres, leur conquête de milieux nouveaux qui fut la plus critique et la plus variée de tout son passé.

À l'origine, les sols issus de la déglaciation étaient très riches en nutriments, plus qu'ils ne l'ont jamais été par la suite. C'est toutefois dans des conditions fortement appauvries que s'effectueront les modifications induites par les changements climatiques, sous des climats difficiles à circonscrire malgré la constante amélioration des modèles prédictifs. La prudence s'impose.

En plus de satisfaire une curiosité intellectuelle certes louable en elle-même, nous espérons que les recherches paléocéologiques contribueront à l'aménagement écosystémique, durable de la forêt boréale québécoise en fournissant une perspective temporelle approfondie de son passé. L'atteinte des cibles d'aménagement, c'est-à-dire les états de référence qu'il faudrait viser pour assurer le maintien de la biodiversité des forêts, ne peut qu'en profiter. Comment au juste? Ce sera aux aménagistes forestiers d'en arrêter le détail. En tant que « vision éthique de la foresterie » (Bélanger, 2001), un aménagement intégré des forêts qui tient compte des valeurs environnementales et des rôles multiples qu'elle joue auprès des citoyens se nourrira certainement des enseignements que

livre son histoire au fil des temps postglaciaires. Ne serait-ce que pour une meilleure connaissance de la Terre Québec.

## Remerciements

Notre gratitude s'adresse d'abord à Monsieur Alayn Larouche, paléobotaniste et palynologue, agent de recherche au Laboratoire Jacques-Rousseau du Département de géographie de l'Université de Montréal, qui a accompagné la création et assuré la gestion des bases de données palynologiques et des macrorestes végétaux. L'appui de Messieurs Jean-Pierre Saucier et Michel Campagna, de la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, fut essentiel à la réalisation de nos synthèses, financées en partie par le Fonds Vert; nous leur sommes infiniment reconnaissants, comme envers Madame Véronique Poirier, géomaticienne au même ministère, pour sa contribution à la figure 1. Notre gratitude s'adresse enfin à l'équipe de rédaction du *Naturaliste canadien* et aux évaluateurs externes anonymes dont les remarques et suggestions nous furent grandement utiles. ◀

## Références

- ASNONG, H. et P.J.H. RICHARD, 2003. La végétation et le climat postglaciaires du centre et de l'est de la Gaspésie, au Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 57 : 37-63.
- ASSELIN, H. et S. PAYETTE, 2005. Late Holocene opening of the forest tundra landscape in northern Québec, Canada. *Global Ecology and Biogeography*, 14 : 307-313.
- BALDWIN, K., L. ALLEN, S. BASQUILL, K. CHAPMAN, D. DOWNING, N. FLYNN, W. MACKENZIE, M. MAJOR, W. MEADES, D. MEIDINGER, C. MORNEAU, J.-P. SAUCIER, J. THORPE et P. UHLIG, 2018. Vegetation zones of Canada: A biogeoclimatic perspective. Map; scale 1:5,000,000. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Sault Ste. Marie, Ontario.
- BASTIANELLI, C., A.A. ALI, Y. BERGERON, C. HÉLY et D. PARÉ, 2019. Tracking open versus closed canopy boreal forest using the geochemistry of lake sediment deposits. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 14 : 3445-3459.
- BÉLANGER, L., 2001. La forêt mosaïque comme stratégie de conservation de la biodiversité de la sapinière boréale de l'Est. L'expérience de la Forêt Montmorency. *Le Naturaliste canadien*, 125 (3) : 18-25.
- BURKE, A. et P.J.H. RICHARD, 2010. L'occupation du Témiscouata pendant l'Archaïque: la comparaison du registre archéologique et du registre paléoenvironnemental. Dans: LOEWEN, B., C. CHAPDELAIN et A. BURKE (édit.). *De l'archéologie analytique à l'archéologie sociale. Recherches amérindiennes au Québec*, Collection Paléo-Québec 34, p. 103-127.
- CARCAILLET, C. et P.J.H. RICHARD, 2000. Holocene changes in seasonal precipitation highlighted by fire incidence in eastern Canada. *Climate Dynamics*, 16 : 549-559.
- COLPRON-TREMBLAY, J. et M. LAVOIE, 2010. Long-term stand-scale dynamics of a boreal mixed forest in Québec, Canada. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 161 : 43-58.
- COUILLARD, P.-L., M. FRÉGEAU, S. PAYETTE, P. GRONDIN, M. LAVOIE et J. LAFLAMME, 2016. Dynamique et variabilité naturelle de la pessière à mousses au nord de la région du Lac-Saint-Jean, Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers, 35 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rapport-dynamique.pdf>.
- COUILLARD, P., S. PAYETTE, M. LAVOIE et J. LAFLAMME, 2019. La forêt boréale du Québec: influence du gradient longitudinal. *Le Naturaliste canadien*, 143 (2) : 18-32. <https://doi.org/10.7202/1060052ar>.
- DALTON, A. S., M. MARGOLD, C.R. STOKES, L. TARASOV, A.S. DYKE, R.S. ADAMS, S. ALLARD, H.E. ARENDS, N. ATKINSON, J. ATTIG, P.J. BARNETT, R.L. BARNETT, M. BATTERSON, T. BELL, P. BERNATCHEZ, H.W. BORNIS, JR., A. BRECKENRIDGE, J.P. BRINER, E. BROUARD, J.E. CAMPBELL, A.E. CARLSON, J.J. CLAGUE, B.B. CURRY,

- R.A. DAIGNEAULT, H. DUBÉ-LOUBERT, D.J. EASTERBROOK, D.A. FRANZI, H.G. FRIEDRICH<sup>†</sup>, S. FUNDER, M.S. GAUTHIER, A.S. GOWAN, K.L. HARRIS, B. HÉTU, T.S. HOOPER<sup>†</sup>, C.E. JENNINGS, M.D. JOHNSON, A.E. KEHEW, S.E. KELLEY, D. KERR, E.L. KING, K.K. KJELDSEN, A.R. KNAEBLE, P. LAJEUNESSE, T.R. LAKEMAN, M. LAMOTHE, P. LARSON, M. LAVOIE, H.M. LOOPE, T.V. LOWELL, B.A. LUSARDI, L. MANZ, I. MCMARTIN, F.C. NIXON, S. OCCHIETTI, M.A. PARKHILL, D.J.W. PIPER, A.G. PRONK, P.J.H. RICHARD, J.C. RIDGE, M. ROSS, M. ROY, A. SEAMAN, J. SHAW, R.R. STEA, J.T. TELLER, W.B. THOMPSON, H.L. THORLEIFSON, D.J. UTING, J.J. VEILLETTE, B.C. WARD, T.K. WEDDLE et H.E. WRIGHT, Jr.<sup>†</sup>, 2020. An updated radiocarbon-based ice margin chronology for the last deglaciation of the North American Ice Sheet Complex. *Quaternary Science Reviews*, 234 (2020) 106223. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106223>.
- DANSEREAU, P., 1956. Le coincidence, un processus écologique. *Acta Biotheoretica*, 11 : 157-178.
- DYKE, A.S., A. MOORE et L. ROBERTSON, 2003. Deglaciation of North America. Geological Survey of Canada, Open File 1574.
- ENGSTROM, D.R. et B.C.S. HANSEN, 1985. Postglacial vegetational change and soil development in southeastern Labrador as inferred from pollen and chemical stratigraphy. *Canadian Journal of Botany*, 63 : 543-561.
- FÆGRI, K., P.E. KALAND et K. KRZYWINSKI, 1989. Textbook of pollen analysis, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley and Sons, New York, x + 328 p.
- FILION, L., 1987. Holocene development of parabolic dunes in the central St. Lawrence Lowlands, Quebec. *Quaternary Research*, 28 : 196-209.
- FRÉCHETTE, B., P.J.H. RICHARD, P. GRONDIN, M. LAVOIE et A.C. LAROUCHE, 2018. Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'ouest du Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière, Mémoire de recherche forestière n° 179, xvii+165 p., Suppléments : 84 p. Disponible en ligne à <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/Memoire179.pdf> et <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/memoire179-supplement.pdf>.
- FRÉCHETTE, B., P.J.H. RICHARD, M. LAVOIE, P. GRONDIN et A.C. LAROUCHE (sous presse). Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière, Mémoire de recherche forestière.
- GAJEWSKI, K., 2019. Environmental history of the northwestern Quebec treeline. *Quaternary Science Reviews*, 206 : 29-43.
- GRANDTNER, M.M., 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- GRONDIN, P., J. NOËL et D. HOTTE, 2007. L'intégration de la végétation et de ses variables explicatives à des fins de classification et de cartographie d'unités homogènes du Québec méridional. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 150, 62 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Grondin-Pierre/Memoire150.pdf>.
- GUIOT, J., A. PONS, J.-L. DE BEAULIEU et M. REILLE, 1989. A 140,000-year continental climatic reconstruction from two European pollen records. *Nature*, 338 : 309-313.
- JULES, A.N., H. ASSELIN, Y. BERGERON et A.A. ALI, 2018. Are marginal balsam fir and eastern white cedar stands relics from once more extensive populations in north-eastern North America? *The Holocene*, 28 : 1672-1679.
- LABELLE, C. et P.J.H. RICHARD, 1981. Végétation tardiglaciaire et postglaciaire au sud-est du parc des Laurentides, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35 : 345-359.
- LAFONTAINE, G. de, J.D. NAPIER, R.J. PETIT et F.S. HU, 2018. Invoking adaptation to decipher the genetic legacy of past climate change. *Ecology*, 99 : 1530-1546.
- LAVOIE, M., 2008. Les grains de pollen, des témoins de l'histoire du couvert végétal. *Histoires forestières du Québec*, 1 : 10-14.
- LAVOIE, M. et L. FILION, 2001. Holocene vegetation dynamics on Anticosti Island, Québec, and consequences of remoteness on ecological succession. *Quaternary Research*, 56 : 112-127.
- MARCOUX, N. et P.J.H. RICHARD, 1995. Végétation et fluctuations climatiques postglaciaires sur la côte septentrionale gaspésienne, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32 : 79-96.
- MORRIS, J.L., R.J. DE ROSE, T. BRUSSEL, S. BREWER, A. BRUNELLE et J.N. LONG, 2019. Stable or seral? Fire-driven alternative states in aspen forests of western North America. *Biology Letters*, 15 : 20190011. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2019.0011>.
- NAVARRO, L., A.-E. HARVEY, A. ALI, Y. BERGERON et H. MORIN, 2018a. A Holocene landscape dynamic multiproxy reconstruction: How do interactions between fire and insect outbreaks shape an ecosystem over long time scales? *PLoS ONE* : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204316>.
- NAVARRO, L., A.-E. HARVEY et H. MORIN, 2018b. Lepidoptera wing scales: a new paleoecological indicator for reconstructing spruce budworm abundance. *Canadian Journal of Forest Research*, 48 : 302-308.
- PAILLARD, J., 2018. Dynamique holocène de l'érablé à sucre (*Acer saccharum* Marsh) dans l'ouest du Québec. Mémoire de M. Sc., Université du Québec à Montréal et Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 77 p.
- PAYETTE, S., 1993. The range limit of boreal tree species in Québec-Labrador: an ecological and palaeoecological interpretation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 79 : 7-30.
- PAYETTE, S. et C. LAVOIE, 1994. The arctic tree line as a record of past and recent climate change. *Environmental Reviews*, 2 : 78-90.
- RICHARD, P., 1968. Un spectre pollinique type de la sapinière à bouleau blanc pour la forêt Montmorency. *Le Naturaliste canadien*, 95 : 565-576.
- RICHARD, P., 1971. Two pollen diagrams from the Quebec City area Canada. *Pollen et Spores*, 13 : 523-559.
- RICHARD, P., 1976. Relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 103 : 53-66.
- RICHARD, P.J.H., 1977. Histoire post-wisconsinienne de la végétation du Québec méridional, par l'analyse pollinique. Publications et rapports divers, Service de la recherche, ministère des Terres et Forêts du Québec, tome 1 : texte, 312 p., 41 tableaux; tome 2 : 114 figures et 24 diagrammes polliniques portant sur 21 localités.
- RICHARD, P.J.H., 1993. Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 79 : 31-68.
- RICHARD, P.J.H., 2007. Le paysage tardiglaciaire du « Grand Méganticois » : état des connaissances. Dans : Chapdelaine, C. (édit.). *Entre lacs et montagnes au Méganticois, 12 000 ans d'histoire amérindienne. Recherches amérindiennes au Québec, Collection Paléo-Québec* 32, p. 21-45.
- RICHARD, P.J.H., 2016. Voyage à la suite d'un glacier. *Quatre-Temps*, 40 : 42-45.
- RICHARD, P.J.H. et P. GRONDIN, 2009. Histoire postglaciaire de la végétation. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (édit.). Manuel de foresterie, 2<sup>e</sup> édition. Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec*, p. 170-176.
- RICHARD, P.J.H. et A.C. LAROUCHE, 1989. La végétation postglaciaire du Témiscamingue, Québec, durant l'épisode glaciolacustre Barlow. *Canadian Journal of Botany*, 67 : 544-558.
- RICHARD, P.J.H., A.C. LAROUCHE et G. LORTIE, 1992. Paléophytogéographie et paléoclimats postglaciaires dans l'ouest du Bas-Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 46 : 151-172.
- RICHARD, P.J.H., J. VEILLETTE, A.C. LAROUCHE, B. HÉTU, J.T. GRAY et P. GANGLOFF, 1997. Chronologie de la déglaciation en Gaspésie : nouvelles données et implications. *Géographie physique et Quaternaire*, 51 : 163-184.
- SAUCIER, J.-P., P. GRONDIN, A. ROBITAILLE, J. GOSSELIN, C. MORNEAU, P.J.H. RICHARD, J. BRISSON, L. SIROIS, A. LEDUC, H. MORIN, É. THIFFAULT, S. GAUTHIER, C. LAVOIE et S. PAYETTE, 2009. *Écologie forestière. Dans : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (édit.). Manuel de foresterie, 2<sup>e</sup> édition. Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec*. p. 165-316.
- TERASMAE, J. et T.W. ANDERSON, 1970. Hypsithermal range extension of white pine (*Pinus strobus* L.) in Québec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 7 : 406-413.
- TREMBLAY, B., E. LÉVESQUE et S. BOUDREAU, 2012. Recent expansion of erect shrubs in the Low Arctic: evidence from Eastern Nunavik. *Environmental Research Letters*, 7 : 1-11.
- WHITMORE, J., K. GAJEWSKI, M. SAWADA, J.W. WILLIAMS, B. SHUMAN, P.J. BARTLEIN, T. MINCKLEY, A.E. VIAU, T. WEBB III, S. SHAFER, P. ANDERSON et L. BRUNBAKER, 2005. Modern pollen data from North America and Greenland for multi-scale paleoenvironmental applications. *Quaternary Science Reviews*, 24 : 1828-1848.