



# **Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional**

par Bianca Fréchette, Pierre J.H. Richard, Martin Lavoie,  
Pierre Grondin et Alayn C. Larouche



Mémoire de recherche forestière n° 186  
Direction de la recherche forestière

# **Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional**

par Bianca Fréchette\*, géol., M. Sc., Ph. D.,  
Pierre J.H. Richard, B. Sc. (for.), D. Sc., Martin Lavoie, géol., Ph. D.,  
Pierre Grondin, ing.f, M. Sc., Ph. D. et Alayn C. Larouche, biol., M. Sc.

Auteur de correspondance : [frechette.bianca@uqam.ca](mailto:frechette.bianca@uqam.ca)

# Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle acquiert de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou à leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

## Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par au moins trois pairs indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document est disponible dans le site Internet du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs à l'adresse : <https://mffp.gouv.qc.ca/le-ministere/publications/>.

Pour obtenir des renseignements complémentaires, veuillez vous adresser à :

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs  
Direction de la recherche forestière  
2700, rue Einstein, Québec (Québec)  
Canada, G1P 3W8  
Courriel : [recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)  
Internet : [mffp.gouv.qc.ca/les-forets/connaissances/recherche-developpement/](https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/connaissances/recherche-developpement/)

© Gouvernement du Québec

On peut citer ce texte en indiquant la référence. Citation recommandée :

Fréchette, B., P.J.H. Richard, M. Lavoie, P. Grondin et A.C. Larouche, 2021. *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 n° 186. 170 p.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements du Canada, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

ISSN : 1183-3912  
ISBN (PDF) : 978-2-550-88953-3  
G.F.D.C. 182.1 (714)  
L.C. SD 390.5

## Notes biographiques



Bianca Fréchette est géologue, diplômée de l'Université de Montréal depuis 1990. En 1994, elle y termine des travaux de maîtrise portant sur le till pollinifère de la région du cratère du Nouveau-Québec (renommé depuis cratère des Pingualuit). Agente de recherche au laboratoire de paléo-phytogéographie et de palynologie (Département de géographie, Université de Montréal) de 1995 à 2000, elle étudie la variabilité postglaciaire de la fréquence des feux de forêt en Abitibi et se spécialise en analyse pollinique de sédiments arctiques. Au terme de ses recherches à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) (2000–2007), elle obtient un doctorat en sciences de l'environnement pour des travaux portant sur la végétation et le climat de l'île de Baffin et du Groenland lors du dernier interglaciaire et depuis le dernier retrait des glaces. Elle élabore des outils statistiques nouveaux pour l'interprétation quantitative des données polliniques en vue de reconstituer le climat des milieux continentaux. Elle est chercheuse au Centre de recherche sur la dynamique du système Terre (Geotop) de l'UQAM depuis 2007 et professeure associée au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère du même établissement depuis 2015.



Pierre J.H. Richard est bachelier ès sciences forestières de l'Université Laval (1967). Avec l'appui de ses professeurs et du ministère des Terres et Forêts du Québec, il s'est spécialisé en palynologie (1965-1971) et a obtenu un doctorat d'État ès sciences naturelles à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc à Montpellier (France) en 1976. De 1971 à 1976, il a enseigné la botanique et fondé un laboratoire de paléo-phytogéographie et de palynologie à l'Université du Québec à Chicoutimi. De 1976 à sa retraite en 2011, il a enseigné la phytogéographie au Département de géographie de l'Université de Montréal, où il a recréé son laboratoire. Avec ses étudiants, il a exploré de nombreuses applications de la palynologie et multiplié les collaborations. La reconstitution de la végétation et des paysages physiques un peu partout au Québec depuis le retrait des glaces continentales constitue son activité privilégiée de recherche.



Martin Lavoie détient un baccalauréat en géologie de l'Université de Montréal (1992). Au Département de géographie de la même université, sous la direction du professeur Pierre J.H. Richard, il a ensuite réalisé une thèse de doctorat (1999) portant sur la dynamique de l'entourbement et les fluctuations des niveaux lacustres postglaciaires au Québec méridional. Après un stage

postdoctoral au Centre d'études nordiques de l'Université Laval, il a été pendant trois ans (2001-2004) enseignant-chercheur à l'Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie de l'Université d'Aix-Marseille III en France. Depuis 2004, il est professeur titulaire au Département de géographie de l'Université Laval où il enseigne la biogéographie et la paléoécologie. Ses travaux et ceux de ses étudiants concernent, entre autres, la dynamique passée et contemporaine des milieux humides ainsi que l'histoire postglaciaire de la végétation et des perturbations écologiques retracée à l'aide des grains de pollen, des macrorestes végétaux et des charbons de bois.



Pierre Grondin est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1976. En 1978, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. En 2014, il obtient un doctorat de l'Université du Québec à Montréal. Depuis 1987, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheur en écologie. Ses travaux portent sur la classification écologique des écosystèmes du Québec méridional ainsi que sur les liens entre l'évolution passée (Holocène) de ces écosystèmes et leur devenir dans un contexte de changements climatiques.



Alayn C. Larouche est biologiste, diplômé de l'Université du Québec à Chicoutimi en 1974. Il y rédige un mémoire de fin d'études sur la morphologie pollinique des éricacées dans le laboratoire de Pierre J.H. Richard à Chicoutimi. Par la suite, il se spécialise en archéobotanique et entreprend de constituer une importante collection de référence de pièces botaniques. En 1979, il obtient une maîtrise en foresterie de l'Université Laval pour un mémoire couplant l'analyse macrofossile et l'analyse pollinique, sous la direction des professeurs Miroslav Grandtner et Pierre J.H. Richard. Dès 1978, il s'associe au laboratoire de paléophytogéographie et de palynologie de l'Université de Montréal pour y devenir agent de recherche en 1979 et y demeurer jusqu'à sa retraite en 2009. Il assure la gestion du laboratoire et l'encadrement des étudiants, participe aux nombreux travaux de terrain et développe les activités du service à la recherche du laboratoire auprès des écologistes, des archéologues, des géologues, des biologistes. Doué pour la programmation informatique, il organise et gère des bases de données polliniques et macrofossiles, plusieurs desquelles sont maintenant accessibles à l'échelle mondiale.



# Résumé

Cette recherche vise à dresser un portrait de l'histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional. Elle repose sur les assemblages polliniques de 35 lacs du domaine bioclimatique de la pessière à lichens et des sous-domaines orientaux de la pessière à mousses, de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune. Nous avons examiné les assemblages polliniques des sédiments lacustres, reconstitué la végétation et le climat postglaciaires des sites, puis résumé les résultats à différentes échelles spatiales et temporelles. Les reconstitutions s'appuient sur la méthode des analogues modernes et sur une base de données de 2418 sites de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland, pour lesquels le climat actuel, l'assemblage pollinique et la végétation sont connus.

L'histoire de la végétation du territoire comporte 3 phases : une phase non arboréenne de tundra (antérieure à 11 000 ans avant aujourd'hui, ou AA), une phase d'afforestation (de 11 000 à 9000 ans AA) et une phase forestière (de 9000 ans AA à aujourd'hui). Au début de la période postglaciaire, la mer de Goldthwait submergeait les côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent à l'est de Québec, et des lambeaux du complexe glaciaire des Appalaches persistaient dans le centre de la Gaspésie. Le couvert végétal à proximité du fleuve était alors clairsemé : herbes, ensuite saules (*Salix* sp.) herbacés et bouleaux (*Betula* sp.) arbustifs se sont implantés, constituant des toundras. À l'époque de l'afforestation, les épinettes noires (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), les peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.) et les sapins baumiers (*Abies balsamea* (L.) Mill.) étaient présents partout dans les paysages de la Gaspésie, du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata et de Charlevoix/Laurentides. Les épinettes noires étaient rares sur la Côte-Nord, mais les épinettes blanches (*Picea glauca* (Moench) Voss.) étaient déjà présentes dans le sud du Labrador. Au début de la phase forestière, le sapin baumier dominait les peuplements de l'est du Québec et du sud du Labrador.

L'âge du début des forêts est asynchrone à travers le territoire en raison de l'emplacement des sites par rapport au front de la calotte glaciaire, alors en récession, ainsi que des conditions de surface des eaux du golfe du Saint-Laurent et de la marge épicontinentale de la mer du Labrador. Pendant la phase d'afforestation et au début de la phase forestière, la composition de la végétation des sites bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent se démarquait de celle des sites en amont et à l'intérieur des terres. Les aulnes crispés (*Alnus crispa* (Aiton) Pursh, synonyme de *Alnus alnobetula* subsp. *crispa* (Aiton) Raus) abondaient dans la région du golfe, et la végétation présente en haute Gaspésie se comparait davantage à celle en Côte-Nord qu'à celle rencontrée à la baie des Chaleurs et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata. Par la suite, de 7 000 à 5 000 ans AA, une répartition de la végétation semblable à celle observée aujourd'hui s'est mise en place, et le contraste de végétation observé s'est amoindri entre la haute Gaspésie et la baie des Chaleurs. Depuis environ 4 000 ans AA, les populations de pins blancs (*Pinus strobus* L.) déclinent dans le paysage forestier au profit des espèces boréales comme l'épinette noire.

Les reconstitutions climatiques montrent un réchauffement graduel de 4 °C de la température de juillet jusque vers 7 000 ans AA, suivi d'un refroidissement de 1 °C. Les précipitations annuelles ont augmenté de 500 mm de 11 000 à 5 000 ans AA, puis sont demeurées relativement stables jusqu'à nos jours. Une transition climatique est notée vers 7 500 ans AA. Dans l'est du Québec, le climat du début de la phase forestière était alors plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui; la circulation atmosphérique d'ouest en est s'est intensifiée et la nébulosité estivale a augmenté. Cela pourrait s'expliquer par un plus grand échange d'humidité entre l'océan et l'atmosphère, entraînant une fréquence accrue d'épais brouillards. La fin des apports d'eau de fonte glaciaire dans le fleuve et le golfe du Saint-Laurent, l'instauration des conditions actuelles des eaux de surface dans la mer du Labrador, et une circulation atmosphérique de source davantage polaire expliqueraient la transition climatique observée vers 7 500 ans AA.

Mots-clés : forêt boréale, forêt tempérée mixte, Labrador, palynologie, Québec, reconstitution climatique, végétation postglaciaire

## Abstract

The aim of this research is to produce a complete picture of the postglacial history of the vegetation and climate in spruce and fir forests in eastern Quebec and southern Labrador. The study is based on pollen assemblages from 35 lakes in the spruce–lichen bioclimatic domain and the eastern spruce–moss, balsam fir–white birch and balsam fir–yellow birch subdomains. We analyzed the pollen assemblages from lake sediments, reconstructed the postglacial climate and vegetation of the sites, then summarized the results at different spatial and temporal scales. These reconstructions are based on the modern analogue technique and on a database of 2418 sites in eastern North America and in Greenland for which the pollen assemblage, vegetation and climate are known.

The history of the study area's vegetation can be divided into 3 phases: a non-arboreal tundra phase (predating 11 000 years before present, or BP), an afforestation phase (11 000 – 9 000 years BP) and a forest phase (from 9 000 years BP until today). At the beginning of the postglacial period, the Goldtwaith Sea submerged the coasts of the Estuary and the Gulf of St. Lawrence in eastern Quebec, and patches of the Appalachian Glacier Complex persisted in central Gaspésie. The vegetation cover near the river was sparse: grasses, then herbaceous willows (*Salix* sp.) and birch (*Betula* sp.) shrubs set in, forming tundras. During the afforestation phase, black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) and balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) were present everywhere in the landscapes of the Gaspésie, Bas-Saint-Laurent/Témiscouata and Charlevoix/Laurentides regions. Black spruce was rare in the Côte-Nord region, but white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss.) was already present in southern Labrador. At the beginning of the forest phase, balsam fir dominated stands of eastern Quebec and southern Labrador.

The age of forest onset is asynchronous across the territory due to the location of the sites in relation to the front of the receding ice cap, and to the surface water conditions of the Gulf of St. Lawrence and of the epicontinental margin of the Labrador Sea. During the afforestation phase and at the beginning of the forest phase, vegetation composition at the sites bordering the lower estuary and the Gulf of St. Lawrence differed from that at sites located upstream and inland. American green alder (*Alnus crispa* (Aiton) Pursh, synonym of *Alnus alnobetula* subsp. *crispa* (Aiton) Raus) was abundant in the Gulf region, and the vegetation present in haute Gaspésie was closer to that of Côte-Nord than to that of the Chaleur Bay and Bas-Saint-Laurent/Témiscouata regions. Then, between 7 000 and 5 000 years BP, a distribution of vegetation similar to the one known today took hold, with less contrast in the abundance of plants between the Haute-Gaspésie and Chaleur Bay regions. Since around 4 000 years BP, white pine (*Pinus strobus* L.) populations have declined in the forest landscape to the benefit of boreal species such as black spruce.

Our climate reconstructions show a gradual 4 °C warming of July temperatures until 7 000 years BP, followed by a 1 °C cooling. Annual precipitation increased by 500 mm from 11 000 to 5 000 years BP, then remained relatively stable until today. A climate transition is noted around 7 500 years BP. In eastern Quebec, the climate at the start of the forest phase was warmer and drier than today; atmospheric circulation from west to east was more intense, with greater summer cloudiness. This could be explained by a greater moisture exchange between the ocean and the atmosphere, resulting in an increased frequency of thick fog. The end of glacial melt-water inputs in the St-Lawrence River and the Gulf of Lawrence, the establishment of current surface water conditions in the Labrador Sea and the circulation of polar air could explain the climate transition observed around 7 500 years BP.

**Keywords:** boreal forest, climate reconstruction, Labrador, mixed forest, palynology, postglacial, Quebec, vegetation

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>Liste des tableaux</b> .....	ix
<b>Liste des figures</b> .....	ix
<b>Liste des annexes</b> .....	xi
<b>Liste des suppléments</b> .....	xii
<b>Liste des abréviations</b> .....	xiii
<b>Remerciements</b> .....	xv
<b>Avant-propos</b> .....	xvii
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre 1 – Sites d'étude</b> .....	3
1.1 Territoire à l'étude.....	3
1.2 Choix des sites.....	6
1.3 Climat des sites.....	8
1.4 Déglaciation des sites .....	8
<b>Chapitre 2 – Méthodologie</b> .....	13
2.1 Analyse des données polliniques et climatiques modernes .....	16
2.2 Analyse des données polliniques postglaciaires.....	17
2.2.1 Description de la base de données .....	19
2.2.2 Chronologie des sites .....	20
2.2.3 Zones d'assemblage pollinique des sites.....	20
2.2.4 Taux d'accumulation pollinique total .....	21
2.2.5 Reconstitution du climat postglaciaire des sites .....	21
2.2.6 Reconstitution de la végétation postglaciaire des sites .....	23
2.3 Reconstitution de l'histoire de la végétation .....	23
2.3.1 Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle de la palynostratigraphie des 8 secteurs .....	23
2.3.2 Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle des 8 provinces polliniques .....	24
2.4 Dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat à l'échelle du millénaire.....	25
2.4.1 Climat millénaire de l'est du Québec et du Labrador méridional.....	25
2.4.2 Régionalisme du climat submillénaire dans l'est du Québec et le Labrador méridional .....	26
2.4.3 Répartition de la végétation millénaire dans le territoire à l'étude .....	27

<b>Chapitre 3 – Résultats</b> .....	29
3.1 Positionnement des 35 sites d'étude dans le contexte des données polliniques et climatiques modernes de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland .....	29
3.2 Données polliniques postglaciaires.....	29
3.2.1 Assemblages polliniques des sédiments de surface.....	29
3.2.2 Courbe pollinique des taxons indicateurs .....	32
3.3 Histoire postglaciaire de la végétation du territoire.....	36
3.3.1 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires des 8 secteurs .....	36
3.3.2 Provinces polliniques et phases de l'histoire postglaciaire de la végétation.....	56
3.4 Dynamique spatiotemporelle millénaire du climat et de la végétation du territoire .....	67
3.4.1 Histoire du climat millénaire.....	67
3.4.2 Régionalisme du climat submillénaire.....	69
3.4.3 Répartition de la végétation millénaire .....	71
<b>Chapitre 4 – Discussion</b> .....	77
4.1 Taux d'accumulation pollinique total et densité du couvert forestier.....	77
4.2 Différenciation spatiale et temporelle du climat .....	78
4.2.1 Température et précipitations .....	80
4.2.2 Ensoleillement estival.....	81
4.2.3 Conditions des eaux de surface dans le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador .....	82
4.2.4 Contraste thermique et production de brouillards.....	83
4.2.5 Une période charnière : 8000 ans AA.....	84
4.3 Les sapinières de l'est du Québec et le climat avant 8000 ans AA.....	86
4.3.1 Feux de forêt.....	86
4.3.2 Apports d'eau douce et refroidissement .....	87
4.3.3 Brouillards .....	89
4.4 Provinces polliniques postglaciaires.....	89
4.5 Phases de la végétation postglaciaire.....	91
4.5.1 Phase non arboréenne.....	91
4.5.2 Phase d'afforestation .....	91
4.5.3 Phase forestière .....	93
4.6 Dynamique spatiale de la végétation millénaire .....	93
<b>Conclusion</b> .....	97
<b>Références bibliographiques</b> .....	99
<b>Annexes</b> .....	107

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Caractéristiques des 35 sites répartis sur le territoire d'étude .....	4
<b>Tableau 2.</b> Climat actuel de la région à différentes échelles .....	9
<b>Tableau 3.</b> Description des zones d'assemblage pollinique (ZAP) des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional .....	46
<b>Tableau 4.</b> Description des 8 provinces polliniques de l'est du Québec et du Labrador méridional .....	57

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Carte de la répartition des 35 sites d'étude à l'échelle des domaines bioclimatiques et informations sur les 9 secteurs et les 4 régions discutées dans le texte .....	7
<b>Figure 2.</b> Gradient climatique du territoire d'étude .....	8
<b>Figure 3.</b> Carte montrant le retrait du front glaciaire de la calotte laurentidienne dans le nord-est de l'Amérique du Nord et la répartition des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional .....	10
<b>Figure 4.</b> Organigramme du cheminement méthodologique .....	15
<b>Figure 5.</b> Caractérisation de la base de données modernes couvrant l'est de l'Amérique du Nord et des bases de données postglaciaires de l'ouest et de l'est du Québec .....	18
<b>Figure 6.</b> Diagramme de l'assemblage pollinique de l'échantillon sommital des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional, et comparaison avec celui des 26 sites de l'ouest du Québec .....	30
<b>Figure 7.</b> Courbe pollinique exprimée en pourcentage des principaux taxons arboréens et arbustifs (taxons indicateurs) des pessières (PL, PM) et des sapinières (SBb, SBj) de l'est du Québec et du Labrador méridional depuis la déglaciation .....	33
<b>Figure 8.</b> Diagramme pollinique sommaire des 23 sites retenus pour résumer la palynostratigraphie postglaciaire du territoire d'étude à l'échelle de 8 secteurs .....	36
<b>Figure 9.</b> Comparaison par secteur des 8 palynostratigraphies synthèses de l'est du Québec et du Labrador méridional en fonction de l'âge .....	44
<b>Figure 10.</b> Reconstitution de la végétation postglaciaire des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional à l'époque des zones d'assemblage pollinique (ZAP) .....	61
<b>Figure 11.</b> Comparaison de la végétation postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional et de la chronologie des 3 grandes phases de son histoire, à l'échelle du territoire d'étude et par secteur .....	61

<b>Figure 12.</b> Évolution du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaires des sites de l'est du Québec et du Labrador .....	68
<b>Figure 13.</b> Variabilité régionale du climat postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional par tranche de 250 ans de sédiment .....	70
<b>Figure 14.</b> Diagrammes sommaires des assemblages polliniques millénaires des sites de l'est du Québec et du Labrador méridional et cartes de la répartition des végétations correspondantes sur le territoire à 0, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000 et 10 000 ans AA .....	72
<b>Figure 15.</b> Comparaison du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaires de l'est et de l'ouest du Québec avec la surface de l'Amérique du Nord englacée, l'intensité de la radiation solaire reçue (insolation) sur Terre aux latitudes 30° et 60° N., la teneur en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des glaces du Groenland aux sites GRIP et GISP2 et l'excès en deutérium ( $\delta\text{D}$ ) pour ces mêmes glaces au site GRIP .....	78
<b>Figure 16.</b> Comparaison de l'anomalie ( $\Delta$ ) de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) de la pessière à lichens (PL) du Québec avec celle des sapinières (SBb et SBj) .....	81
<b>Figure 17.</b> Comparaison de l'évolution submillénaire de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) de la région en amont de l'estuaire du Saint-Laurent et à l'intérieur des terres (NGSL), et celle bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (GSL) avec la température des eaux de surface en été (SST) dans le nord de la mer du Labrador .....	83
<b>Figure 18.</b> Comparaison de l'évolution postglaciaire de l'ensoleillement estival (SJJA) de l'est et de l'ouest du Québec, de la température des eaux de surface (SST) en été observée au centre de la mer du Labrador et de sa marge, et de la température de juillet (T juillet) au centre du Canada et du Labrador .....	85
<b>Figure 19.</b> Comparaison de l'évolution postglaciaire de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) et de l'ensoleillement estival (SJJA) de l'est du Québec et du Labrador méridional avec la biomasse brûlée au Québec, le débit des afflux d'eaux glaciolacustres dans le golfe du Saint-Laurent et la représentation pollinique en pourcentage de <i>Picea</i> et d' <i>Alnus crispa</i> aux sites JARX, TRIANG, MORO et CARIB .....	88
<b>Figure 20.</b> Comparaison de la chronologie moyenne des provinces polliniques de l'ouest et de l'est du Québec, arrondie aux 500 ans .....	90
<b>Figure 21.</b> Comparaison de la végétation postglaciaire de l'est et de l'ouest du Québec à l'échelle des domaines bioclimatiques .....	92
<b>Figure 22.</b> Comparaison de la répartition des végétations millénaires à travers l'est et l'ouest du Québec à 0, 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA .....	94

# Liste des annexes

<b>Annexe 1.</b> Climat de la période actuelle des 35 sites, tiré de la base de données modernes et des stations météorologiques à proximité de ceux-ci .....	107
<b>Annexe 2.</b> Liste des taxons sporopolliniques tirée de la base de données postglaciaires et de la base de données modernes et information sur le groupement des taxons .....	109
<b>Annexe 3.</b> Diagrammes polliniques des 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional, et résultat du groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (CONISS) .....	115
<b>Annexe 4.</b> Dates au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ), en années conventionnelles, et âges étalonnés des 35 sites à l'étude .....	151
<b>Annexe 5.</b> Taux d'accumulation sédimentaire (TAS) et résolution en années des échantillons des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional .....	156
<b>Annexe 6.</b> Information sur la végétation des 15 groupes <i>K</i> -means reconnus par Fréchette <i>et al.</i> (2018) à la suite de l'analyse des assemblages polliniques de surface pour les 1 010 sites de l'est du Canada .....	158
<b>Annexe 7.</b> Caractérisation de l'assemblage pollinique type des végétations postglaciaires et millénaires de l'est du Québec et du Labrador méridional, reconstituées à l'échelle des domaines bioclimatiques .....	159
<b>Annexe 8.</b> Résultats obtenus à la suite de l'analyse en composantes principales (ACP) appliquée aux 2 418 assemblages polliniques modernes de l'est de l'Amérique du Nord .....	160
<b>Annexe 9.</b> Détail de la construction des 8 palynostratigraphies synthèses du territoire d'étude en fonction de l'âge .....	161
<b>Annexe 10.</b> Taux d'accumulation pollinique (TAP, en grains-cm <sup>-2</sup> -an <sup>-1</sup> ) et pourcentage de <i>Populus</i> , de <i>Picea</i> , d' <i>Alnus crispa</i> , d' <i>Abies</i> , de <i>Pinus</i> , de <i>Betula</i> et des herbes ainsi que TAP total du sédiment à l'échelle des ZAP, pour les sites des sapinières occidentales et des sapinières orientales .....	162
<b>Annexe 11.</b> Courbes des anomalies climatiques ( $\Delta$ ) de la température moyenne des mois le plus chaud (MTWA) et le plus froid (MTCO), des précipitations annuelles totales (PANN) et de l'ensoleillement estival (SJJA), par tranches de 250 ans de sédiment aux 9 sites de la région GSL et aux 11 autres de la région NGSL .....	164
<b>Annexe 12.</b> Courbe traduisant l'anomalie ( $\Delta$ ) de la température des eaux de surface (SST) qui survient en été aux sites en marge de la mer du Labrador et en son centre .....	166
<b>Annexe 13.</b> Comparaison de la chronologie des zones d'assemblage pollinique (ZAP) et des provinces polliniques de l'est et de l'ouest du Québec à l'échelle des 7 secteurs des pessières et des 9 secteurs des sapinières .....	167
<b>Annexe 14.</b> Taux d'accumulation pollinique (TAP) et pourcentage de <i>Picea</i> et d' <i>Abies</i> dans les sédiments de 4 sites des sapinières de l'est du Québec .....	169
<b>Annexe 15.</b> Comparaison des diagrammes polliniques de l'assemblage actuel (500–0 ans AA) et de celui à 6 000 ans AA des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional et des 26 autres de l'ouest du Québec .....	170

# Liste des suppléments<sup>1</sup>

- Supplément 1.** Modèles âge-profondeur des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional.
- Supplément 2.** Reconstitution du climat postglaciaire des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional.
- Supplément 3.** Information sur les assemblages actuels associés aux assemblages postglaciaires, pour les ZAP des 8 palynostratigraphies synthèses illustrées à la figure 9, par secteur.
- Supplément 4.** Diagrammes complets des assemblages polliniques millénaires des sites de l'est du Québec et du Labrador méridional pour tous les millénaires entre aujourd'hui et 11 000 ans AA.
- Supplément 5.** Information sur la palynostratigraphie des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional.

---

<sup>1</sup> Les suppléments ne font pas partie intégrante du présent document, mais ils sont disponibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance ([frechette.bianca@uqam.ca](mailto:frechette.bianca@uqam.ca)) ou de la Direction de la recherche forestière ([recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)). Ils peuvent aussi être téléchargés à l'adresse : <https://www.mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/MRF186-supplement.pdf>.

# Liste des abréviations

## Concepts

A : phase d'afforestation (immigration des arbres)  
AA : avant aujourd'hui  
CP : concentration pollinique  
F : phase forestière (sylvie à structure semblable à celle du couvert forestier moderne)  
I : phase de végétation postglaciaire initiale (arboréenne ou non)  
ka : milliers d'années (en latin, *kilo annum*)  
T : tundra indéterminée (végétation initiale non arboréenne)  
TAP : taux d'accumulation pollinique  
TAS : taux d'accumulation sédimentaire  
ZAP : zone d'assemblage pollinique

## Domaines bioclimatiques

EBj : érablière à bouleau jaune  
PL : pessière à lichens  
PM : pessière à mousses  
SBb : sapinière à bouleau blanc  
SBj : sapinière à bouleau jaune  
SEn : sapinière à épinette noire  
TA : tundra arbustive  
TF : tundra forestière  
TH : tundra herbacée  
TP : tremblaie-parc

## Secteurs de l'est du Québec

PLCN : pessière à lichens — centre-nord du Québec  
PLOL : pessière à lichens — ouest du Labrador  
PMCN : pessière à mousses — Côte-Nord  
PMSL : pessières à mousses — sud du Labrador  
SBCG : sapinière à bouleau blanc — centre de la Gaspésie  
SBRN : sapinière à bouleau blanc — rive nord du fleuve Saint-Laurent  
SJNG : sapinière à bouleau jaune — côte nord de la Gaspésie  
SJRS : sapinière à bouleau jaune — rive sud du fleuve Saint-Laurent  
SJSG : sapinière à bouleau jaune — côte sud de la Gaspésie

## Secteurs de l'ouest du Québec

PLO : pessière à lichens — ouest du Québec  
PMO : pessière à mousses — ouest du Québec  
SBbO : sapinière à bouleau blanc — ouest du Québec  
SBjO : sapinière à bouleau jaune — ouest du Québec

## Régions

GSL : regroupement des sites bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent  
NGSL : regroupement des sites plus en amont et à l'intérieur des terres (non-golfe du Saint-Laurent)

## Variables climatiques

GDD5 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C  
MTWA : température moyenne du mois le plus chaud (en anglais, *mean temperature of the warmest month*)  
MTCO : température moyenne du mois le plus froid (en anglais, *mean temperature of the coldest month*)  
PANN : précipitations annuelles totales  
PJJA : précipitations estivales totales (juin, juillet et août)  
SJJA : ensoleillement estival; juin, juillet et août (en anglais, *summer sunshine*)  
SST : température des eaux de surface (en anglais, *sea surface temperature*)

## Termes statistiques

CONISS : programme de groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (en anglais, *constrained incremental sum of squares*)  
SCD : mesure de corde au carré (en anglais, *squared chord distance*)  
SCD<sub>max</sub> : mesure de corde au carré du 5<sup>e</sup> et dernier analogue  
RMSE : erreur quadratique moyenne (en anglais, *root-mean-square error*)  
r<sup>2</sup> : coefficient de corrélation de Pearson  
TSS : somme totale des carrés en écart avec la moyenne (en anglais, *total sum of squares*)



## Remerciements

Nos remerciements s'adressent à la Direction des inventaires forestiers (DIF) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec, qui a soutenu cette étude par l'intermédiaire du Fonds vert. Cette étude a également bénéficié d'un soutien financier du professeur Yves Bergeron (FRQNT — équipe 2013–2016 [2014 — PR-173570] : *Changements climatiques, séquestration du carbone, feux et composition forestière de la forêt boréale durant l'Holocène* [projet CLIMAT-COS]; CRSNG — projets stratégiques [STPGP 479283-15] : *Capacité de régénération suite aux feux/coupes, de remise en production et de croissance des peuplements juvéniles/immatures en pessière dans un contexte de changement climatique*). Nos travaux s'insèrent dans le projet interne de la Direction de la recherche forestière (DRF) intitulé *Variabilité naturelle et aménagement écosystémique de la pessière à mousses dans un contexte de changements climatiques,*

sous la responsabilité de Pierre Grondin. Merci à Jocelyn Gosselin (DIF) qui nous a encouragés à produire un document accessible aux forestiers intéressés par la paléoécologie, et à Michel Campagna (DRF) qui a appuyé le projet et en a assuré le suivi. Nous avons également bénéficié de la collaboration de Véronique Poirier de l'équipe de géomatique de la DRF pour la confection des figures 1a et 2. Rock Ouimet (DRF) s'est chargé du processus d'évaluation par les pairs; toute notre reconnaissance lui est acquise, de même que pour les réviseurs externes auxquels il a fait appel. Merci, enfin, à Denise Tousignant (DRF) pour avoir dirigé l'édition de ce mémoire, à Dominique Fournier pour la révision linguistique, ainsi qu'à Alexandre Dallaire-Théroux (DRF) et Maripierre Jalbert (MFFP — Direction des communications) pour la vérification typographique, la mise en page et le graphisme.



# Avant-propos

La société presse les scientifiques de prévoir les futurs changements climatiques et leurs effets sur les écosystèmes forestiers. Actuellement, nous connaissons peu l'histoire climatique d'avant les observations météorologiques directes. Or, la connaissance de la dynamique plurimillénaire de la végétation en relation avec les climats passés est essentielle pour bien comprendre comment les écosystèmes forestiers évolueront dans un monde qui se réchauffe. L'analyse des assemblages de grains de pollen préservés dans les archives sédimentaires que recèlent les lacs permet de retracer l'histoire du couvert végétal depuis que de grands glaciers se sont retirés, de même que les changements climatiques survenus depuis lors.

La présente synthèse s'inscrit dans un vaste projet visant à documenter les changements plurimillénaires de la végétation et du climat du Québec depuis la déglaciation. Elle s'adresse autant aux naturalistes et aux écologistes (forestiers, biologistes, géographes, etc.) peu familiers avec la paléoécologie qu'aux initiés, pour peu que le lecteur ait un intérêt pour l'histoire de la végétation et du climat du passé. Les informations paléoécologiques que nous utiliserons sont tirées de l'analyse pollinique des sédiments lacustres et sont archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal.

Le cheminement retenu ici pour l'analyse et la synthèse des données polliniques postglaciaires des sites des pessières et des sapinières de l'est du Québec et du Labrador est comparable à celui utilisé pour l'étude de l'histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'ouest du Québec publié dans le mémoire de recherche forestière de Fréchette *et al.* (2018). Nous désirons ainsi faciliter la comparaison de la dynamique postglaciaire de la végétation dans l'ensemble de la forêt boréale (résineuse et mixte) et de la forêt tempérée mixte québécoises, au nord du 47° degré de latitude Nord.

Les résultats sont présentés selon une approche « pas-à-pas » qui permet au lecteur de suivre notre démarche de synthèse. Certains d'entre eux sont détaillés afin de décrire en profondeur les sites d'étude (section 3.3). D'autres offrent une vue d'ensemble de l'information (section 3.4). Le présent travail de recherche comprend plusieurs annexes intégrées à la publication, de même que des suppléments colligés séparément<sup>2</sup>. Nous espérons qu'avec ce matériel, les lecteurs seront outillés pour bien saisir tout le potentiel qu'offrent les données polliniques postglaciaires pour appuyer la planification de l'aménagement écosystémique des forêts, dans un contexte de changement climatique.

<sup>2</sup> <https://www.mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/MRF186-supplement.pdf>



# Introduction

L'aménagement écosystémique vise à maintenir les écosystèmes dans un état sain et résilient. Cette approche cherche à restreindre l'écart entre les paysages naturels et les paysages aménagés afin d'assurer le maintien à long terme des multiples fonctions des écosystèmes et, par ricochet, les nombreux bénéfices sociaux et économiques qui en découlent (Boucher *et al.* 2011, Gauthier *et al.* 2008). Ces paysages naturels résultent d'une dynamique généralement lente, mais qui peut avoir été plus rapide par moments. Cette dynamique a été active à l'échelle des temps géologiques, et principalement depuis le dernier retrait des glaces continentales. La composition des éléments de la flore qui talonnait le retrait des glaces au Québec a beaucoup varié dans l'espace comme dans le temps, d'environ 13 500 ans AA dans les Appalaches à environ 6 000 ans AA quand les derniers lambeaux du grand glacier ont disparu du centre de la péninsule du Québec-Labrador. Cette flore s'est modifiée et progressivement enrichie malgré des disparitions locales. Des communautés végétales diverses et changeantes se sont constituées au gré des modifications climatiques et de l'incidence plus ou moins fréquente des perturbations naturelles (feux, épidémies d'insectes, etc.) (Richard 1977, 1978, 1995, Richard et Grondin 2009).

Dans la plupart des travaux paléoécologiques québécois fondés sur les résultats de l'analyse pollinique, les interprétations de la végétation et du climat passé se sont appuyées sur les liens observés de nos jours entre le climat, la végétation et les assemblages polliniques qui en résultent, mais elles étaient essentiellement qualitatives. Notre but est d'établir, cette fois à l'aide de méthodes quantitatives, la différenciation spatiale et temporelle du couvert végétal et du climat depuis la déglaciation dans les pessières et sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional, afin d'obtenir une vision complète pour la forêt boréale ainsi que pour la partie nord de la forêt tempérée. Cette approche a été utilisée avec succès dans l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018).

Les 4 objectifs suivants sont visés :

- 1- reconstituer de manière objective et quantitative l'histoire de la végétation et du climat postglaciaires pour les pessières et sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional;
- 2- établir la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat de cette même région à l'échelle du millénaire;
- 3- examiner le rôle exercé par les grands plans d'eau que sont le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador sur la dynamique climatique postglaciaire et sur la végétation forestière des sites côtiers;
- 4- comparer les résultats des sites de l'est du Québec et du Labrador méridional à ceux livrés par les sites de l'ouest du Québec.

En intégrant les résultats avec ceux obtenus pour l'ouest de la Boréale québécoise, nous pourrions (a) mieux documenter les gradients de composition et de structure de la végétation et (b) synthétiser les variations du climat au fil du temps à l'échelle provinciale, dans l'ensemble de la forêt boréale (résineuse et mixte) et dans la forêt tempérée mixte du Québec. La comparaison des résultats climatiques associés aux sites avec les reconstitutions disponibles touchant les conditions maritimes permettra d'examiner les échanges d'humidité entre l'océan et l'atmosphère et de préciser leur effet sur la dynamique forestière le long des marges orientales canadiennes.

Nous poursuivons donc ici l'exploitation des riches données pollenanalytiques, dont plusieurs sont inédites, archivées pour la plupart au Département de géographie de l'Université de Montréal (Laboratoire Jacques-Rousseau) durant la carrière du professeur émérite Pierre J.H. Richard. L'acquisition uniforme des données au travers du temps, leur traitement innovant à l'aide de méthodes quantitatives objectives, la réalisation des mises à jour chronologiques qui s'imposent et nos reconstitutions climatiques à la fine pointe des connaissances apportent une importante valeur ajoutée au corpus palynologique disponible.



# Chapitre 1 — Sites d'étude

## 1.1 Territoire à l'étude

Le territoire d'étude englobe la portion orientale de 4 domaines bioclimatiques à savoir (du sud vers le nord) : la sapinière à bouleau jaune (SBj), la sapinière à bouleau blanc (SBb), la pessière noire à mousses (PM) et la pessière noire à lichens (PL). Le premier domaine appartient à la zone tempérée froide et les trois autres, à la zone boréale (Saucier *et al.* 2009). Le domaine de la PL occupe aussi le Labrador, de sorte que les sites à l'étude qui s'y trouvent appartiennent tous à ce territoire (Richard 1987, 1993). La végétation forestière de la zone boréale se compose principalement de 5 espèces : le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le bouleau blanc (également appelé bouleau à papier : *Betula papyrifera* Marshall) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Dans le domaine de la SBj, ces mêmes essences sont présentes, mais elles se joignent à des espèces typiques de la zone tempérée, notamment le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), le thuya (*Thuja occidentalis* L.), le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le frêne noir (*Fraxinus nigra* Marshall), l'orme d'Amérique (*Ulmus americana* L.) et l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall). Cette dernière espèce est généralement associée aux domaines plus méridionaux, où elle domine les peuplements ici et là en Sagamie et sur le pourtour de la Gaspésie (Grondin *et al.* 2007). La présence du chêne rouge (*Quercus rubra* L.) à Forillon, en Gaspésie, constitue un autre exemple de stations satellites peuplées d'essences forestières dont l'aire de peuplement est plus méridionale.

Le passage progressif du domaine de la SBj à celui de la PL est d'abord marqué par une baisse graduelle de la température et du nombre de degrés-jours. L'ensemble du territoire est caractérisé par des précipitations relativement abondantes qui atteignent des valeurs maximales dans les régions de haute altitude (plus de 600 m), notamment dans la réserve faunique des Laurentides et sur les hauts sommets de la Gaspésie (Grondin *et al.* 2007, MRN 2013). Ces fortes précipitations sont propices à la croissance et au maintien de sapinières régulièrement affectées par les épidémies d'insectes. Les précipitations ont également pour effet de limiter l'action des feux, ce qui favorise le développement

de forêts résineuses âgées. Les fortes précipitations et la faible récurrence des feux font en sorte que le pin gris, considéré comme une espèce pyrophile, est relativement rare et restreint à la portion occidentale du territoire d'étude.

Les sapinières atteignent leur maximum d'abondance au Québec dans le sous-domaine de la SBb de l'Est, en particulier dans les massifs de la réserve faunique des Laurentides (Blouin et Berger 2004) et de la Gaspésie (Berger et Blouin 2006). Dans les domaines de la pessière, les sapinières à épinette noire sont bien représentées le long de la côte nord du fleuve Saint-Laurent. Leur abondance diminue cependant vers le nord, au profit de pessières noires à sapin, puis des pessières noires (Morneau et Landry 2010). Cette diminution est en lien avec une température moyenne annuelle plus froide (de 1 °C près du fleuve Saint-Laurent à -3,5 °C au nord du réservoir Gouin), une altitude qui ne cesse d'augmenter (de 0 à 600 m) vers le centre du Québec (réservoir Manicouagan) et un cycle de feu de plus en plus court (MRN 2013). Les reliefs caractérisant l'arrière-pays de Sept-Îles sont formés de hautes collines et de monts recouverts de dépôts glaciaires très minces (moins de 25 cm). Ces reliefs sont parmi les mieux exprimés du Québec méridional (Morneau et Landry 2010, MRN 2013). Un changement de relief est manifeste à la hauteur de la partie nord du réservoir Manicouagan, où les collines montueuses cèdent leur place à des reliefs plus doux (coteaux). C'est là que s'effectue le passage de la PM à la PL. Dans cette dernière, les feux sont fréquents et de grande superficie. Ces conditions favorisent non seulement l'épinette noire, mais également le pin gris.

Les activités humaines ont modifié la végétation naturelle dans l'ensemble des domaines de la sapinière, mais principalement celui de la SBj. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les activités de défrichement ont été suivies de feux d'abattis qui se sont propagés aux forêts avoisinantes. Ce processus a eu pour effet de favoriser, par exemple, le développement de vastes formations de peupliers faux-trembles (Boucher *et al.* 2009). L'action combinée des épidémies d'insectes et de la coupe forestière a également contribué à la transformation de forêts mixtes en érablières (Payette *et al.* 2017).

**Tableau 1.** Caractéristiques des 35 sites répartis sur le territoire d'étude.

Secteur	Nom (et sigle) du site	Domaine bioclimatique	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	Superficie (ha)	Épaisseur du sédiment (cm)	Transition minérale/organique		Nombre de dates <sup>14</sup> C †
								Profondeur (cm)	Âge étalonné (années AA)*	
Centre-nord du Québec (PLCN)	Daumont (DAU)	PL	54° 53'	69° 24'	607	1,5	215	160	6370	4
	Delorme – 1 (DEL1)	PL	54° 25'	69° 55'	513	0,5	190	180	6180	4
Ouest du Labrador (PLOL)	Coghill Lake (COGHILL)	PL	53° 54'	66° 46'	530	535	227	214	6880	3
	Harrie Lake (HARRIE)	PL	52° 56'	66° 57'	530	66	665	600	env. 6700	6
	Gras (lac) (GRAS)	PM	52° 15'	67° 04'	530	284	243	185	7700	5
	Sable (lac au) (SABLE <sup>II</sup> )	PM	51° 24'	66° 13'	530	100	272	263	7930	3
Côte-Nord (PMCN)	Petel (lac) (PETEL)	PM	50° 33'	66° 16'	290	122	222	env. 171	env. 8700	5
	Matamek (lac) (MATAMEK)	PM	50° 20'	65° 55'	122	1,3	1036	env. 950	env. 8000	4
	LD Lake (LD)	PM	50° 08'	67° 08'	122	0,6	360	345	7970	2
Sud du Labrador (PMSL)	Eagle Lake (EAGLE)	PL	53° 14'	58° 33'	400	750	430	410	10150	5
	Hope Simpson Lake (HOPESIM)	PM	52° 27'	56° 26'	295	65	210	env. 196	env. 11790	6
	Moraine Lake (MORAINE)	PM	52° 16'	58° 03'	385	45	200	env. 172	env. 10750	6
	Whitney's Gulch (WHITNEY)	PM	51° 31'	57° 18'	98	5,5	400	375	env. 11900	6
Nord du Saint-Laurent (SBRN)	Main (lac à la) (MAIN)	SBb	47° 42'	70° 37'	730	9,62	192	env. 170	env. 9680	6
	Madeleine (lac) (MADE)	SBb	47° 40'	70° 43'	800	8,29	112	env. 100	env. 9080	4
	Mimi (lac) (MIM)	SBJ	47° 30'	70° 22'	423	10	530	515	12850	5
	Charlevoix/ Laurentides	Ange (lac à l')	SBJ	47° 29'	70° 41'	648	0,5	565	512	env. 12000 <sup>II</sup>
	Marcotte (lac) (MARC)	SBJ	47° 03'	71° 24'	503	3,8	372	335	env. 11800 <sup>II</sup>	5
Sud du Saint-Laurent (SJRS)	Montagne Ronde (lac de la) (MORO)	SBJ	48° 19'	68° 34'	150	3,5	490	420	10070	7
	Fourche (lac à la) (FOURX)	SBJ	47° 59'	69° 12'	160	19,6	443	300	10450	4
	Bas-Saint-Laurent/ Témiscouata	lac Beazley (BEAZ)	SBJ	47° 34'	68° 30'	191	30	700	env. 678	env. 11800
	Ouellet (lac) (OUEL)	SBJ	47° 32'	68° 57'	300	6	545	400	env. 10500 <sup>II</sup>	2
	Boucané (lac) (BOUC)	SBJ	47° 27'	69° 27'	500	28	320	270	env. 10800 <sup>II</sup>	3
Centre de la Gaspésie (SBCG)	Turcotte (lac) (TUR)	SBb	49° 09'	65° 46'	447	10	428	env. 350	env. 12400	4
	Ébron (lac) (EBR)	SBb	49° 03'	65° 53'	530	2	500	s. o.	s. o.	7
		Dolbeau (lac) (DOLB)	SBb	48° 58'	65° 57'	965	3,14	634	env. 600	env. 10900
Plateau de la Gaspésie	Diable (lac du) (DIAB)	SBb	48° 55'	66° 07'	494	25	230	130	12850	5
	Triangle (lac) (TRIANG)	SBb	48° 43'	65° 25'	465	1,5	387	373	10750	5

Profondeur (cm)	Date basale		Nombre d'échantillons avec un assemblage pollinique	Pas analytique des échantillons (cm)	Résolution des échantillons (années) <sup>§</sup>	ZAP régionales	Taxons clés	Résumé millénaire	Références
	Âge <sup>14</sup> C (années AA)	Âge étalonné (années AA) <sup>‡</sup>							
155-160	5490 ± 80	6289	24	9 ± 2	386 ± 84			x	Richard et al. (1982)
175-180	5330 ± 120	6108	20	9 ± 2	325 ± 61			x	Richard et al. (1982)
190-197	5400 ± 90	6184	25	9 ± 5	296 ± 148	x	x	x	King (1986)
580-600	6030 ± 110	6890	31	21 ± 14	240 ± 156	x		x	King (1986)
171-183	6510 ± 110	7417	28	7 ± 4	292 ± 167	x	x	x	King (1986)
253-258	6860 ± 100	7710	20	5 ± 4	194 ± 171			x	King (1986)
164-170	7710 ± 90	8502	28	6 ± 3	332 ± 169	x	x	x	King (1986)
949-950	6990 ± 170	7825	24	45 ± 11	376 ± 121	x		x	Ouellet et Poulin, inédit
335-345	6960 ± 300	7814	41	9 ± 2	209 ± 43	x		x	Mott (1976)
410-430	10550 ± 290	12327	48	9 ± 6	239 ± 169	x	x	x	Lamb (1980)
193-204	10400 ± 140	12251	52	4	239 ± 83	x	x	x	Engstrom et Hansen (1985)
170-175	9640 ± 170	10962	47	4	252 ± 64	x	x	x	Engstrom et Hansen (1985)
345-355	9820 ± 110	11249	21	20	650 ± 231			x	Lamb (1980)
149-160	8710 ± 100	9729	37	5 ± 2	300 ± 129	x	x	x	Bussièrès (1992)
90-100	7540 ± 130	8342	22	5 ± 1	471 ± 55	x	x	x	Bussièrès (1992)
500-515	11050 ± 460	12895	38	13 ± 9	373 ± 205			x	Richard et Poulin (1976), Richard (1977), Larouche (1979)
499-507	10710 ± 215	12589	57	10 ± 16	440 ± 438			x	Labelle et Richard (1981)
297-304	9885 ± 200	11404	47	8 ± 4	343 ± 163	x		x	Labelle et Richard (1981)
455-460	9630 ± 780	11051	49	10 ± 7	276 ± 158	x	x	x	Richard et Larouche (1994)
290-298	9200 ± 160	10399	49	9 ± 4	288 ± 59	x	x	x	Richard et al. (1992)
678	10100 ± 60	11691	25	28 ± 7	501 ± 233	x		x	Burke et Richard (2010) – publication partielle
290-300	7470 ± 140	8273	33	17 ± 6	559 ± 49			x	Richard et al. (1992)
247-260	9140 ± 120	10334	24	13 ± 6	580 ± 282			x	Richard et al. (1992)
335-345	10360 ± 170	12172	34	12 ± 7	550 ± 191			x	Labelle et Richard (1984)
425	8880 ± 70	9995	45	11 ± 7	323 ± 162	x		X	Richard, Larouche et M'Pindy, inédit
590-595	9290 ± 80	10474	45	14 ± 6	260 ± 123	x	x	x	M'Pindy, Gangloff et Richard, inédit
120-130	10660 ± 160	12564	35	7 ± 4	496 ± 77			x	Richard et Labelle (1989)
375-380	9630 ± 60	10960	41	10 ± 1	283 ± 34	x	x	x	Asnong (2001), Asnong et Richard (2003)

**Tableau 1.** (suite et fin)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Domaine bioclimatique	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	Superficie (ha)	Épaisseur du sédiment (cm)	Transition minérale/organique		Nombre de dates <sup>14</sup> C †
								Profondeur (cm)	Âge étalonné (années AA)*	
Côte nord de la Gaspésie (SJNG)	J'Arrive (lac) (JARX)	SBJ	49° 15'	65° 22'	56	2,4	env. 590	env. 500	env. 11 300	4
	Euloge (lac) (EULX)	SBJ	49° 15'	65° 22'	83	1,2	env. 330	290	11 244	4
	Perdu (lac) (Ruis. Castor) (PERDU)	SBJ	49° 10'	66° 19'	152	0,5	700	env. 630	env. 11 090	8
Haute Gaspésie	Bouchard (Petit lac) (BOUCHX)	SBJ	48° 56'	64° 36'	145	2	330	324	10 100	9
Côte sud de la Gaspésie (SJSJG)	Raymond (lac à) (RAYMVP)	SBJ	48° 14'	65° 51'	50	0,5	1 200	1 025	12 150	5
	Caribou (lac) (CARIB)	SBJ	48° 12'	64° 56'	116	2,6	398	350	env. 11 700 <sup>§</sup>	3
Baie des Chaleurs	Robin (lac à) (ROBIN)	SBJ	48° 03'	65° 16'	50	7	300	230	env. 11 800 <sup>¶</sup>	4

\* Information sur l'âge minimal de la déglaciation.

† Dates utilisées pour la construction du modèle âge/profondeur. Toutes les dates, incluant celles exclues, sont livrées à l'annexe 4.

‡ Calib 7.0 (IntCal13).

§ Sédiment au-dessus de la date basale.

¶ SABLE : uniquement la base de la carotte (173 à 268 cm).

¶ Estimation sous la date basale.

## 1.2 Choix des sites

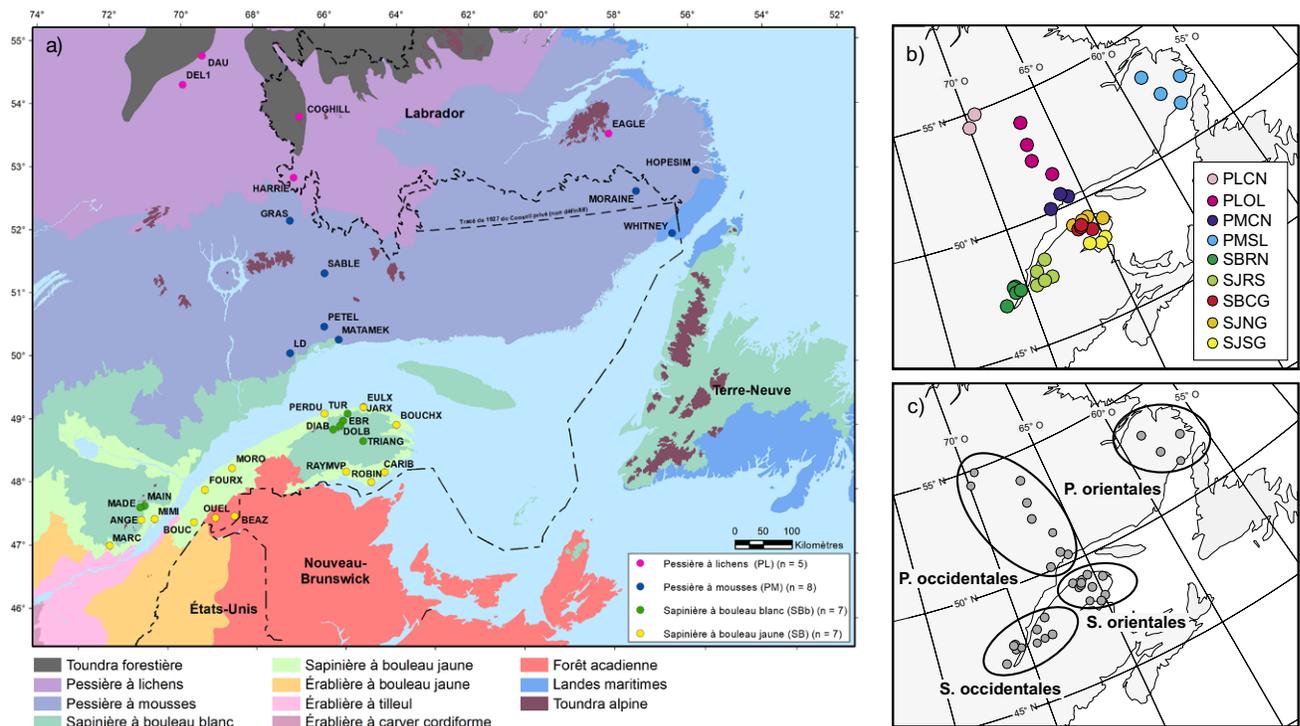
L'histoire postglaciaire de la végétation et du climat présentée dans ce travail s'appuie sur l'étude de diagrammes polliniques de dépôts sédimentaires lacustres. Les données relatives aux sites qui sont pertinents à notre étude sont archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal (Laboratoire Jacques-Rousseau) ou sur le site Internet de la base de données NEOTOMA<sup>3</sup>. Parmi tous les sites disponibles, nous avons tout d'abord répertorié ceux appartenant aux sous-domaines bioclimatiques de la SBJ de l'Est, de la SBb de l'Est et de la PM de l'Est. Nous avons ensuite recherché quelques sites en périphérie du territoire à l'étude, plus particulièrement au nord (domaine de PL, au centre du Québec et à l'ouest du Labrador) et à l'est (domaines de la PL et de la PM, au sud du Labrador). Tous les sites retenus du domaine de la PL se trouvent au sud de la latitude 55° N. Nous avons par la suite exclu tous les sites sans contrôle chronologique (non datés par <sup>14</sup>C) et ceux présentant un diagramme pollinique partiel en raison, notamment, d'une sédimentation incomplète pour de multiples causes. Les sites choisis possèdent donc tous un diagramme pollinique continu, c'est-à-dire des assemblages polliniques

(échantillons) couvrant l'ensemble de la période postglaciaire, et une chronologie reposant sur au moins 2 dates <sup>14</sup>C. Nous avons privilégié les diagrammes provenant de lacs à ceux des tourbières. À l'échelle des domaines bioclimatiques, les assemblages polliniques des sédiments lacustres livrent généralement une image plus « pure » de l'histoire de la végétation régionale dont nous voulons retracer le déploiement régional; en effet, cette image n'est pas biaisée par l'ensemble des végétaux qui sont typiques aux tourbières (échelle locale) composées majoritairement d'éricacées et souvent d'épinettes noires. Les sédiments lacustres captent ainsi beaucoup mieux les changements survenus dans la végétation à l'échelle du bassin versant (Richard 1977).

Au total, 35 sites ont été retenus (tableau 1, figure 1a) : 15 d'entre eux appartiennent au sous-domaine de la SBJ de l'Est, et 7 à celui de la SBb de l'Est. Parmi les autres sites, 8 relèvent du domaine de la PM et 5 de celui de la PL. Les 13 sites des pessières (PL et PM) occupent le biome de la forêt boréale, alors que les 22 des sapinières (SBb et SBJ) appartiennent à celui de la forêt boréale mixte (SBb) et de la forêt tempérée mixte (SBJ).

<sup>3</sup> <http://neotomadb.org>

Profondeur (cm)	Date basale		Nombre d'échantillons avec un assemblage pollinique	Pas analytique des échantillons (cm)	Résolution des échantillons (années) <sup>§</sup>	ZAP régionales	Taxons clés	Résumé millénaire	Références
	Âge <sup>14</sup> C (années AA)	Âge étalonné (années AA) <sup>‡</sup>							
566-586	12810 ± 90	15278	81	7 ± 3	191 ± 78	x	x	x	Marcoux (1993), Marcoux et Richard (1995)
289-291	9730 ± 70	11148	70	5 ± 4	287 ± 200			x	Marcoux (1993), Marcoux et Richard (1995)
690-700	11550 ± 220	13342	58	13 ± 7	261 ± 78	x		x	Labelle et Richard, inédit
323-329	9130 ± 140	10317	62	5 ± 1	174 ± 92	x	x	x	Asnong (2001), Asnong et Richard (2003)
1030-1032	10150 ± 220	11805	63	17 ± 9	202 ± 99			x	Jetté (1991), Jetté et Richard (1992)
265-272	8250 ± 110	9229	38	10 ± 4	397 ± 143	x		x	Jetté (1991), Jetté et Richard (1992)
211-222	9800 ± 80	11220	33	9 ± 2	512 ± 45	x		x	Jetté (1991), Jetté et Richard (1992)



**Figure 1.** Carte de la répartition des 35 sites d'étude à l'échelle des domaines bioclimatiques et informations sur les 9 secteurs et les 4 régions discutées dans le texte. La répartition des sites à travers les domaines bioclimatiques est présentée dans (a), celle sur l'information sur les 9 secteurs est présentée dans (b) et celle des régions dans (c). Les limites des domaines bioclimatiques du Québec proviennent de Saucier *et al.* (2009). Pour le reste du territoire canadien, la zonation provient de Baldwin *et al.* (2019). Les toundras alpines de Baldwin *et al.* (2019) identifiées au Québec ont été retenues dans un but d'homogénéisation avec le reste du territoire. Un ajustement de contours a été fait à la jonction de la portion nord du Nouveau-Brunswick et du Québec afin d'insérer la forêt acadienne de Baldwin *et al.* (2019) dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune du Québec. Les contours retenus pour les États-Unis sont ceux de Cleland *et al.* (2007). Les couleurs des domaines sont celles utilisées au MFFP; celles des sites figurent en cartouche. Les sites DEL1, DAU, WHITNEY, ANGE, MIMI, BOUC, OUEL, TUR, EULX et RAYMVP n'ont pas été considérés pour le résumé de la palynostratigraphie des sites (figure 9) et la reconstitution de la végétation postglaciaire (figure 10), mais ils ont été pris en compte pour la reconstitution du climat de la région (figure 12) et de la végétation millénaire (figure 14). Les sites exclus l'ont été en raison du long pas analytique (> 400 ans) entre les données (voir la section 2.3.1).

### 1.3 Climat des sites

Les sites des pessières (PM et PL) de l'est du Québec et du Labrador se distinguent de ceux des sapinières (SBj et SBb) principalement par un plus faible nombre de degrés-jours au-delà de 5 °C (GDD5) (PM et PL : < 900 degrés-jours; SBj et SBb : > 1 100 degrés-jours) et des températures moyennes en janvier plus froides (PM et PL : -18 °C; SBj et SBb : -14 °C; figure 2, tableau 2 et annexe 1). L'écart thermique annuel ( $\Delta$  TANN) est d'environ 4 °C (PM et PL : -2 °C; SBj et SBb : 2 °C).

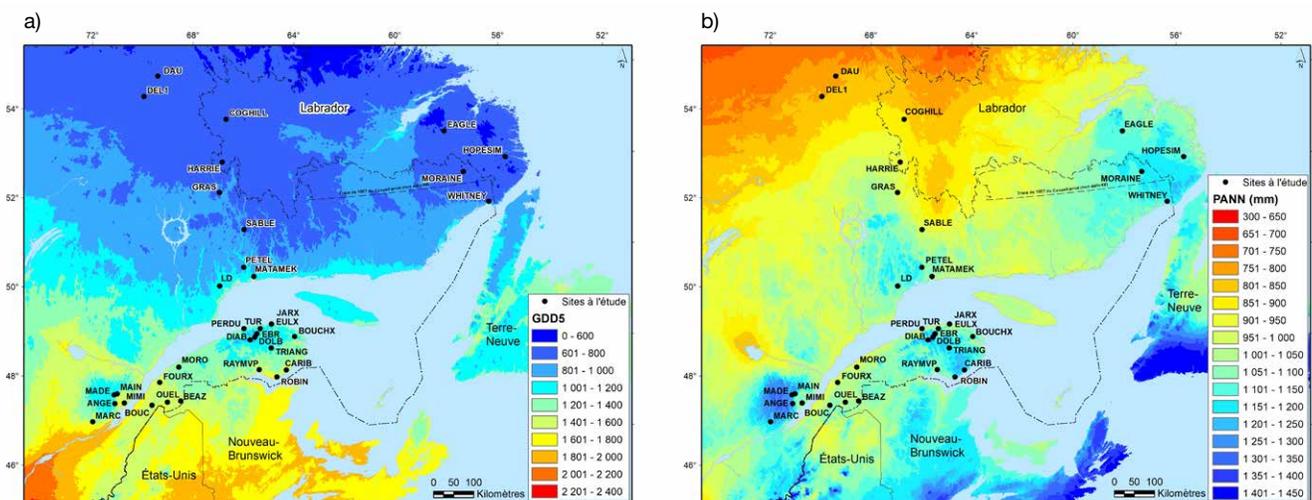
À l'échelle du territoire d'étude, le contraste climatique se situe plutôt entre les sites de basses et de hautes altitudes, et entre ceux à proximité du golfe du Saint-Laurent et ceux davantage à l'intérieur des terres (figure 2). Cette différenciation spatiale se reflète principalement par les précipitations annuelles totales (PANN), plus abondantes dans les secteurs de Charlevoix (SBb, alt. 620 m) et du centre de la Gaspésie (SBb, alt. 580 m), tous les deux en haute altitude, et dans le sud du Labrador (PM), à proximité de la mer du Labrador.

La saisonnalité, c'est-à-dire le contraste thermique entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, souligne bien le climat maritime des sites les plus à l'est. Les sites orientaux des pessières et sapinières ont une saisonnalité plus faible (< 29 °C) que ceux occidentaux (> 31 °C) (tableau 2). La saisonnalité est minimale dans la PM du sud du Labrador (26 °C) et maximale dans la PL de l'ouest du Labrador et du secteur de la rivière Caniapiscau au Québec (36 °C). Ailleurs, elle oscille entre 29 °C (côte gaspésienne nord et sud) et 31 °C (Charlevoix et Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, de part et d'autre du fleuve).

Le golfe du Saint-Laurent est une mer enclavée, connectée à l'Atlantique Nord par les détroits de Belle Isle et de Cabot, et alimentée par des apports d'eau douce du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires. Dans les régions de marge continentale comme celle du golfe, le climat est intimement lié à la dynamique des océans qui jouent un rôle clé dans le transfert latitudinal de chaleur et d'humidité. À ces endroits, les échanges (téléconnexions) océan–glace–atmosphère, le drainage continental et les modifications des courants marins peuvent être invoqués pour expliquer les changements climatiques sur le continent. La formation de brouillards tout au long de l'année dans le secteur du golfe est un bon exemple d'échange d'humidité entre l'océan et l'atmosphère. Le long de la côte, la production de brouillards est favorisée par les vents du sud et du sud-est qui apportent l'air chaud du Gulf Stream sur les eaux froides des marges orientales canadiennes, le long desquelles passe le courant du Labrador. De plus, dans le secteur du golfe du Saint-Laurent, là où pénètre le courant du Labrador par le détroit de Belle Isle, le contact qu'il a avec les masses d'air chaud de l'intérieur du continent favorise la production de brouillards côtiers.

### 1.4 Déglaciation des sites

L'âge de la déglaciation varie à travers le territoire (figure 3). L'examen de la carte des isochrones de la déglaciation montre que les sites des domaines de la SBj et de la SBb étaient libres de glace il y a plus de 11 000 ans. Par contraste, ceux des domaines de la PM et de la PL l'ont été beaucoup plus tardivement, soit vers 8 500 – 6 500 ans. Pour la PM, l'âge relatif à la déglaciation diffère entre les sites au sud du Labrador et ceux sur la Côte-Nord. Les premiers



**Figure 2.** Gradient climatique du territoire d'étude. a) Nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5); b) précipitations annuelles totales (PANN). La version 2.1 du logiciel WorldClim a été utilisée (Fick et Hijmans 2017).

**Tableau 2.** Climat actuel de la région à différentes échelles. Le climat des 35 sites est tiré de la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005) et celui des stations météorologiques d'Environnement Canada. Le climat des sites et des stations est livré individuellement à l'annexe 1.

Domaine bioclimatique, secteur ou région	Nombre de sites	Température moyenne annuelle (°C)	MTWA* (°C)	MTCO† (°C)	GDD5‡ (degrés-jours)	PANN§ (mm)	SJJA   (%)	Saisonnalité¶ (°C)
PL (sites)	5	-4,0	12,6	-22,3	525	889	38	35
PM (sites)	8	-1,0	13,3	-16,6	675	1058	41	30
SBb (sites)	7	0,5	15,2	-14,7	907	1244	45	30
SBJ (sites)	15	2,2	16,7	-13,1	1170	1133	48	30
Secteur de la PLCN (sites)	2	-5,1	12,5	-24,2	507	817	38	37
Secteur de la PLOL (sites)	4	-3,4	13,5	-21,7	629	892	40	35
Secteur de la PLOL (stations)	4	-4,1	13,1	-23,3	704	818	39	36
Secteur de la PMCN (sites)	3	0,3	15,1	-15,5	897	1035	45	31
Secteur de la PMCN (stations)	2	1,2	15,5	-14,9	1056	1085	50	30
Secteur de la PMSL (sites)	4	-1,4	11,2	-15,0	450	1150	36	26
Secteur de la PMSL (stations)	2	-0,2	12,4	-14,1	699	1059	37	26
Secteur de la SBRN (sites)	5	0,3	15,0	-15,2	917	1408	45	30
Secteur de la SBRN (stations)	4	1,8	16,7	-14,7	1285	1205	47	31
Secteur de la SJRS (sites)	5	2,7	17,6	-13,5	1299	1046	47	31
Secteur de la SJRS (stations)	8	2,8	17,5	-13,6	1435	1046	49	31
Secteur de la SBCG (sites)	5	0,8	15,5	-14,2	939	1124	45	30
Secteur de la SBCG (stations)	1	1,7	16,4	-13,9	s. o.	1117	s. o.	30
Secteur de la SJNG (sites)	4	2,1	16,3	-12,8	1093	1109	48	29
Secteur de la SJNG (stations)	5	2,8	16,7	-12,2	1290	956	49	29
Secteur de la SJSG (sites)	3	3,2	17,2	-11,5	1253	1129	50	29
Secteur de la SJSG (stations)	6	3,5	17,7	-12,0	1465	1114	52	30
Région des pessières occidentales (sites)	9	-2,7	13,7	-20,5	678	915	41	34
Région des pessières occidentales (stations)	6	-1,5	14,3	-19,1	880	952	44	33
Région des pessières orientales (sites)	4	-1,4	11,2	-15,0	450	1150	36	26
Région des pessières orientales (station)	2	-0,2	12,4	-14,1	699	1059	37	26
Région des sapinières occidentales (sites)	10	1,5	16,3	-14,4	1108	1227	46	31
Région des sapinières occidentales (stations)	12	2,3	17,1	-14,2	1360	1125	48	31
Région des sapinières orientales (sites)	12	2,0	16,3	-12,8	1095	1120	48	29
Région des sapinières orientales (stations)	12	2,7	16,9	-12,7	1378	1062	51	30
Pessières (sites)	13	-2,1	12,4	-17,7	564	1032	38	30
Pessières (stations)	8	-1,0	13,7	-17,4	820	987	42	31
Sapinières (sites)	22	1,8	16,3	-13,6	1101	1174	47	30
Sapinières (stations)	24	2,5	17,0	-13,3	1369	1088	49	30

\* Dans le contexte du Québec, la MTWA (température du mois le plus chaud) correspond à celle du mois de juillet.

† Dans le contexte du Québec, la MTCO (température du mois le plus froid) correspond à celle du mois de janvier.

‡ GDD5 = nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C.

§ PANN = précipitations annuelles totales (mm).

|| SJJA = ensoleillement estival (juin-juillet-août, en % d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil).

¶ Saisonnalité = MTWA - MTCO (°C).

**Note 1.** Il n'y a pas de stations météorologiques à proximité du secteur de la PLCN; c'est pourquoi les moyennes « Région des pessières occidentales (stations) » et « Pessières (stations) » sont différentes de celles basées sur les sites. Le climat des sites du secteur de la PLCN est inclus dans le calcul des moyennes pour « Région des pessières occidentales » et « Région des pessières (sites) ».

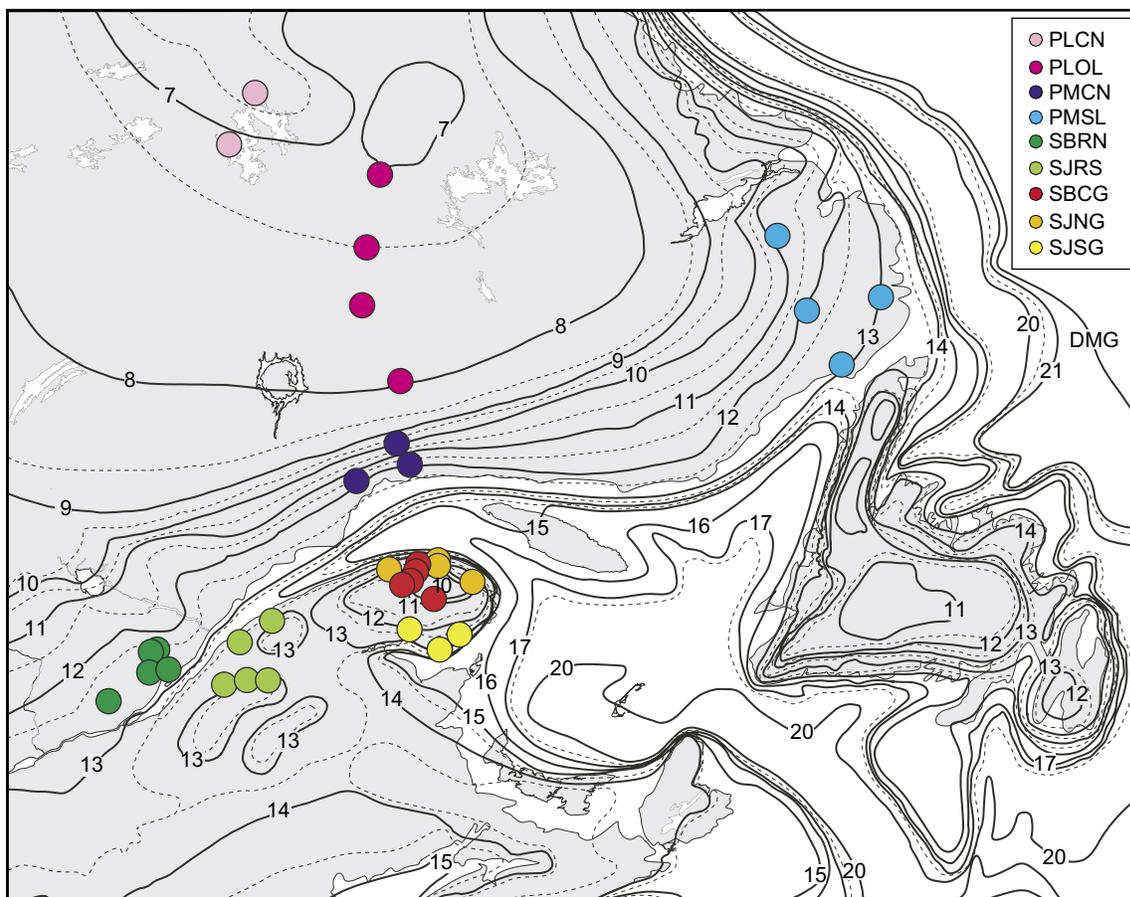
**Note 2.** L'estimation du climat des sites du secteur de la SBRN est approximative, car ceux-ci sont à haute altitude. Le climat des sites à proximité dans la base de données modernes a été estimé par interpolation; il est possible que cette estimation soit plus ou moins précise, notamment du côté de la PANN (voir la section 3.4.2).

ont été dégagés vers 12 000 – 10 500 ans AA, alors que les deux sites les plus côtiers de la Côte-Nord sont restés submergés par la mer de Goldthwait, une étendue d'eau qui a recouvert les côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent à l'est de Québec après le retrait de la calotte glaciaire laurentidienne. Son tout début remonte à plus de 17 000 ans AA au cœur du golfe (Rémillard *et al.* 2016), et la phase marine principale ayant affecté les côtes (Goldthwait II) s'étend d'environ 14 000 à 11 000 ans AA. Dans le sud du Labrador, les sites les plus proches de la côte (WHITNEY et HOPESIM; figure 1a) ont été déglacés vers 13 000 ans AA, quelque 2 000 ans plus tôt que le site EAGLE, le plus au nord (Engstrom et Hansen 1985, Lamb 1980).

Vers 13 500 ans AA, la calotte laurentidienne s'est retirée de la côte au sud de l'estuaire du Saint-Laurent, entre Trois-Pistoles et l'extrémité nord-est de la Gaspésie, ainsi que le long de la côte de la baie des Chaleurs (figure 3). La région du Témiscouata

a été déglacée sensiblement à la même époque. Pour sa part, le centre de la Gaspésie, à plus haute altitude, est resté sous l'emprise de glaciers locaux (diverses phases du Glacier gaspésien) jusque vers 10 000 ans AA (Richard *et al.* 1997). La mer de Goldthwait n'a recouvert qu'une étroite frange de la côte au sud du fleuve Saint-Laurent; son altitude maximale varie de 165 m à Rivière-Ouelle à 30 m à Gaspé (Bernatchez 2003, Dionne 1977). Parmi les sites côtiers à l'étude, seul le site JARX (alt. 56 m) a été submergé, et ce, jusque vers 11 400  $^{14}\text{C}$  ans AA (Marcoux et Richard 1995). Les sites du centre de la Gaspésie ont été déglacés entre 12 000 – 10 000 ans AA (Richard *et al.* 1997, figure 3). Ceux de la baie des Chaleurs l'ont été plus tôt, vers 13 000 ans AA.

Il y a environ 12 500 ans AA, la calotte laurentidienne dégageait la côte au nord du fleuve Saint-Laurent, mais le secteur du détroit de Belle Isle (sud du Labrador) a été libre de glace environ 1 000 ans



**Figure 3.** Carte montrant le retrait du front glaciaire de la calotte laurentidienne dans le nord-est de l'Amérique du Nord et la répartition des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional. Les isochrones sont exprimées en années  $^{14}\text{C}$  étalonnées (en anglais : *cal BP*; en français : AA, Avant l'Actuel); leur position a été interpolée tous les 500 et 1 000 ans par Pierre J.H. Richard à partir des cartes de Dyke *et al.* (2003). Des données plus récentes ont été incorporées, notamment celles de Occhietti *et al.* (2011) et de Rémillard *et al.* (2016). La couleur attribuée aux sites est celle des divers secteurs reconnus et étudiés dans cette synthèse (voir le tableau 1). DMG = dernier maximum glaciaire.

plus tôt (figure 3). Le complexe morainique de la Côte-Nord (North Shore Moraine System) s'étend sur plus de 800 km le long de la côte, entre les rivières Manicouagan et Kenamu (Labrador). Il marque une pause dans le recul vers le nord de la calotte glaciaire et matérialise un front de glacier dans le secteur au nord du golfe (Dubois et Dionne 1985). À cette époque, le front glaciaire était situé à 25 km de la côte, dans la région de Baie-Comeau (Dubois 1979).

La mer de Goldthwait a submergé une étroite bande du territoire de la côte au nord du fleuve Saint-Laurent, entre Les Escoumins à l'ouest et Blanc-Sablon à l'est (Dionne 1977). Son altitude maximale moyenne dans la région était d'environ 140 m (Bernatchez 2003). Les côtes ont été submergées selon le recul et la configuration du front glaciaire, et l'eau s'est engouffrée dans les profondes vallées côtières; en conséquence, la période où celles-ci ont été submergées est différente d'une vallée à l'autre. Le long de la côte au nord du fleuve Saint-Laurent, l'émersion des côtes par relèvement isostatique a débuté vers 13000 ans AA dans les régions de la Basse-Côte-Nord et vers 12500 ans AA sur la Haute-Côte-Nord (Bernatchez 2005). L'émersion du littoral au niveau de la Moyenne-Côte-Nord, entre les villes de Baie-Comeau et Havre-Saint-Pierre, a débuté plus tard, vers 10500 ans AA. La période entre 10000 et 9000 ans AA, caractérisée par une émersion rapide des terres, est une phase importante quant à l'encaissement des cours d'eau (Bernatchez 2005). Dans la vallée de la rivière aux Anglais (région de Baie-Comeau), on trouve d'immenses dépôts

coquilliers qui remontent à 12000 – 11000 ans AA (Bernatchez *et al.* 1999). Parmi les sites côtiers à l'étude, les sites LD et MATAMEK, de la région de Sept-Îles (altitude : 122 m dans les deux cas), ont été submergés jusque vers 10500 – 10000 ans AA, au début de l'émersion du littoral au niveau de la Moyenne-Côte-Nord (Bernatchez 2005). Vers 9000 ans AA, 85 % du relèvement isostatique était réalisé (Dionne 2001), et vers 8300 ans AA, la configuration moderne des côtes l'était en grande partie, avec la fin de la mer de Goldthwait (Ouellet et Richard 2017). Le site PETEL, plus au nord et à plus haute altitude (290 m), a échappé à cette submersion.

Quant à la région du massif des Laurentides, sis à plus haute altitude, elle a été libérée des glaces vers 12500 ans AA (Dyke *et al.* 2003). Le complexe morainique de Saint-Narcisse s'étend sur 750 km le long de la marge méridionale des Laurentides, au nord de la vallée du Saint-Laurent, entre l'Outaouais et le Saguenay (Occhietti 2007). La moraine de Saint-Narcisse, qui remonte sans doute à 12500 ans AA (Serge Occhietti, comm. pers. 2018), marque une phase de stabilisation puis de ralentissement du retrait vers le nord de la marge glaciaire, probablement associée au refroidissement climatique du Dryas récent (12700 – 11700 ans AA; Occhietti 2007). À partir du Saguenay, le front glaciaire correspondant à cette moraine s'établissait dans l'estuaire, puis dans le golfe du Saint-Laurent, longeant de près la Côte-Nord jusque tout près du détroit de Belle Isle, où il occupait sans doute le Labrador méridional.



## Chapitre 2 – Méthodologie

L'analyse pollinique est une méthode complexe dotée d'un vocabulaire propre qu'il faut apprivoiser. Les principales notions d'analyse pollinique, le cheminement logique que nous avons suivi et les diverses étapes de la méthodologie utilisée pour reconstituer les anciennes végétations et les climats passés sont décrits dans Fréchette *et al.* (2018). Nous invitons le lecteur à s'y référer. La méthode utilisée repose sur les éléments suivants :

- Chaque domaine (ou sous-domaine) bioclimatique actuel de végétation est caractérisé par un spectre (ou assemblage) pollinique moyen et par des taxons polliniques (ou paly-notaxons) indicateurs, avec des variations plus ou moins grandes. Les méthodes numériques utilisées ont la vertu d'en assurer la reconnaissance de manière uniforme et d'en mesurer l'écart de manière chiffrée.
- Chaque domaine bioclimatique actuel reçoit aussi des apports polliniques venant de l'extérieur, en plus ou moins grande proportion selon : a) la structure et la composition de la végétation dudit domaine, notamment **l'abondance de taxons régionaux** surreprésentés ou sous-représentés par leur pollen, b) **l'extension spatiale** plus ou moins grande du domaine en question, c) la **position** du domaine considéré par rapport à ses voisins et d) sa position par rapport aux **particularités de la circulation atmosphérique** générale.
- La méthode des analogues recherche numériquement, parmi les spectres polliniques produits par la végétation actuelle, ceux qui correspondent le plus aux spectres ou ensembles de spectres (assemblages) anciens enregistrés successivement dans un diagramme pollinique et illustrés par les zones d'assemblage pollinique (ZAP). La méthode attribue ainsi aux spectres ou assemblages anciens les caractéristiques de la végétation et du climat des spectres actuels correspondants. Elle évalue aussi la qualité de la correspondance (mesure de la dissimilarité). Elle permet ainsi d'identifier des spectres anciens sans analogue satisfaisant dans la période actuelle. Les méthodes numériques utilisées ont la vertu d'assurer la définition des assemblages d'un diagramme pollinique de manière uniforme et d'en mesurer l'écart avec les analogues modernes de manière chiffrée.

- Or, pour un domaine (ou sous-domaine) bioclimatique ayant existé dans le passé (et **sur-tout dans le passé lointain**), a) l'abondance des taxons surreprésentés ou sous-représentés, b) l'extension spatiale du domaine, c) sa position relative par rapport aux autres domaines et d) celle par rapport à la circulation atmosphérique générale passée ne sont pas les mêmes qu'actuellement, ce qui induit des assemblages polliniques diversement affectés dans le temps par les **apports polliniques de longue distance**, extérieurs au domaine (ou sous-domaine) considéré.
- L'interprétation d'un diagramme pollinique sur le plan de la végétation doit tenir compte de ces aspects. Ils permettent d'éclairer les particularités mises en évidence par la zonation pollinique automatique, et de comprendre pourquoi un même type de domaine bioclimatique (type de végétation) peut présenter une **signature pollinique changeante dans le temps**.

L'aménagiste forestier doit garder à l'esprit que le couvert actuel ne comporte pas tous les types de végétation ayant pu exister dans le passé récent (c'est-à-dire celui de l'Holocène, qui correspond aux 11 600 derniers ans environ), et que le plus proche analogue statistique n'est pas nécessairement celui qui représente la réalité du présent. Un bel exemple en est la végétation de la tremblaie-parc (TP), présente il y a plus de 10 000 ans sur le territoire du domaine actuel de la SBJ du Bas-Saint-Laurent et de la marge au sud du massif des Laurentides, et dont l'équivalent n'existe aujourd'hui qu'au nord du biome des Prairies canadiennes (section 3.3).

Nous avons comparé l'assemblage pollinique postglaciaire à différents assemblages récents répartis un peu partout, et transposé l'environnement (végétation et climat) associé au meilleur assemblage récent (l'assemblage analogue moderne) à l'assemblage postglaciaire. À cette fin, 2 bases de données ont été mises à contribution. La première comprend l'assemblage pollinique moderne de différents sites provenant de divers environnements (**base de données modernes**). La seconde comporte les assemblages polliniques postglaciaires d'un ou de plusieurs sites (**base de données postglaciaires**).

La **base de données modernes** comprend 2418 assemblages polliniques de surface de différents dépôts organiques (lacs, tourbières, coussinets de mousses, etc.) de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland (Whitmore *et al.* 2005). Une portion de cette base (1 010 sites) a été utilisée par Fréchette *et al.* (2018) afin de définir les assemblages polliniques types des végétations postglaciaires à l'échelle du domaine bioclimatique. Par ailleurs, l'ensemble de la base de données a servi à positionner les sites d'étude (35 lacs pour l'est du Québec et 26 pour l'ouest) dans un contexte nord-est américain (section 3.1).

La **base de données postglaciaires** comprend les assemblages polliniques postglaciaires de 35 sites (lacs) répartis à travers les domaines bioclimatiques de la PL, de la PM, de la SBb et de la SBj de l'est du Québec et du Labrador méridional.

Le cheminement méthodologique est résumé à la figure 4. Ses principales étapes sont les suivantes :

**Étape 1 : Analyse des données polliniques postglaciaires des 35 sites disponibles.** Les sites sont répartis à travers les domaines bioclimatiques de la PL, de la PM, de la SBb et de la SBj de l'est du Québec et du Labrador méridional.

**Étape 2 : Synthèse palynostratigraphique pour 8 des 9 secteurs et pour les provinces polliniques de l'est du Québec et du Labrador méridional.** Les données polliniques des 35 sites ont été synthétisées afin d'étudier la dynamique spatiotemporelle de la végétation postglaciaire et de dresser son portrait pour l'est du Québec et le Labrador méridional depuis la déglaciation. La synthèse a été faite tout d'abord à l'échelle des ZAP de 8 des 9 secteurs géographiques, puis à l'échelle des provinces polliniques de l'est du Québec et du Labrador méridional. Les résultats sont discutés à l'échelle des 4 régions (pessières [PL, PM] et sapinières [SBb, SBj], toutes deux subdivisées en parties orientale et occidentale).

Les 9 secteurs à l'étude (figure 1b) sont les suivants :

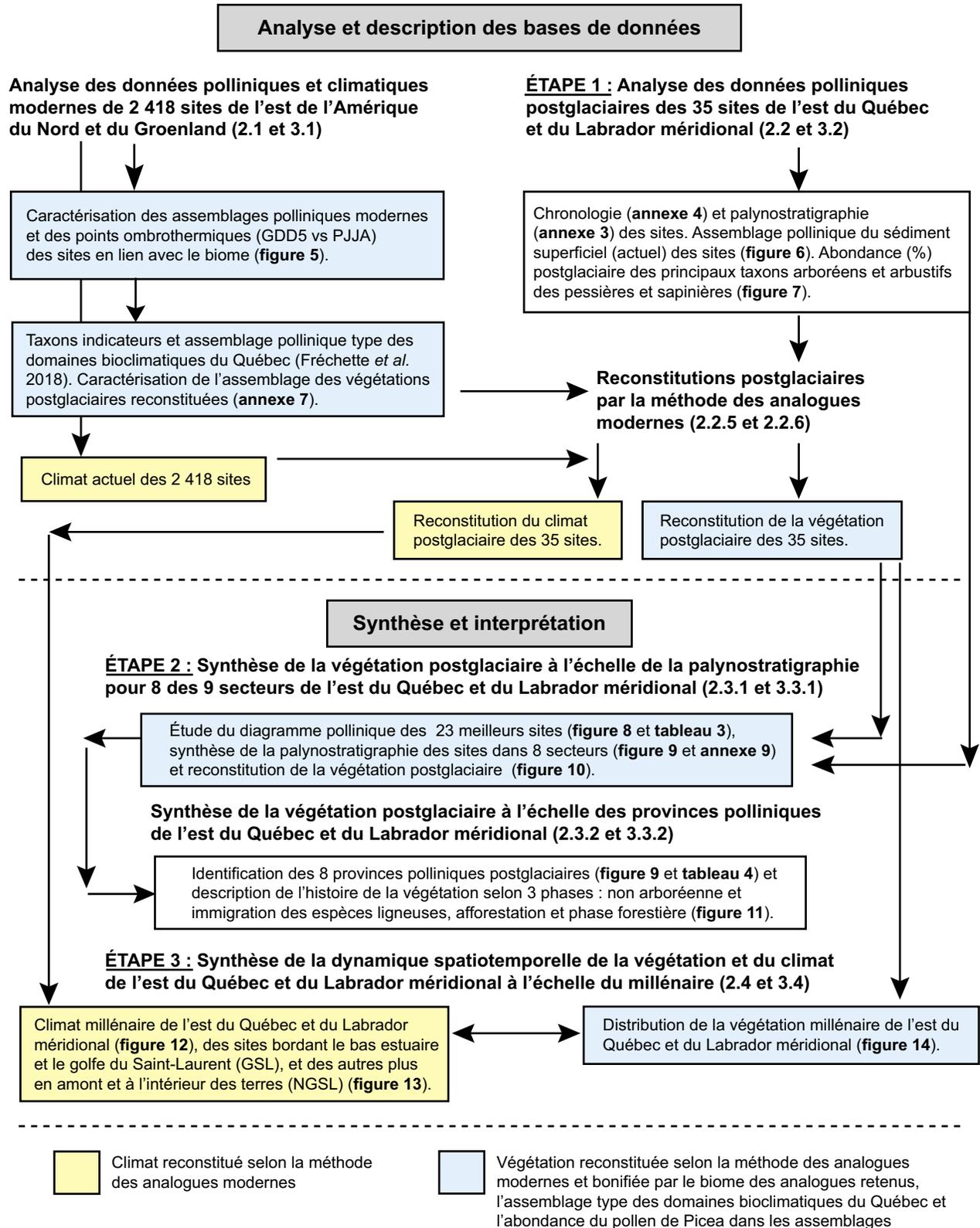
- **PLCN** : **PL** du **centre-nord** du Québec (lac Caniapiscau). Ce secteur a toutefois été retiré de cette synthèse en raison d'une résolution analytique et chronologique insuffisante. Les diagrammes peuvent toutefois être utilisés pour une comparaison générale;
- **PLOL** : **PL** de l'**ouest** du **Labrador** (rivière Moisie, Fermont/Schefferville);
- **PMCN** : **PM** de la **Côte-Nord** (Sept-Îles);
- **PMSL** : **PM** et **PL** du **sud** du **Labrador** (détroit de Belle Isle/lac Melville);

- **SBRN** : **SBb** de la **rive nord** du fleuve Saint-Laurent (Charlevoix/Laurentides);
- **SJRS** : **SBj** de la **rive sud** du fleuve Saint-Laurent (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata);
- **SBCG** : **SBb** du **centre** de la **Gaspésie** (plateau de la Gaspésie, Murdochville);
- **SJNG** : **SBj** de la **côte nord** de la **Gaspésie** (haute Gaspésie, Sainte-Anne-des-Monts/Gaspé);
- **SJSG** : **SBj** de la **côte sud** de la **Gaspésie** (baie des Chaleurs).

Les 4 régions (figure 1c) sont les suivantes :

- **Pessières occidentales** : **PL** et **PM** à l'ouest de la longitude 63° O (secteurs de la **PLCN**, de la **PLOL** et de la **PMCN**), ce qui comprend les sites du centre-nord du Québec, dans la région de la rivière Caniapiscau (**PL**), ceux à l'ouest du Labrador, le long de la rivière Moisie et entre les villes de Fermont et Schefferville (**PL**), ainsi que ceux sur la Côte-Nord (**PM**);
- **Pessières orientales** : **PL** et **PM** à l'est de la longitude 63° O (secteur de la **PMSL**), ce qui comprend les sites du sud du Labrador (**PL** et **PM**);
- **Sapinières occidentales** : **SBb** et **SBj** à l'ouest de la longitude 67° O (secteurs de la **SBRN** et de la **SJRS**), ce qui comprend les sites dans la région de Charlevoix et des Laurentides (**SBb** = de haute altitude, **SBj** = de basse altitude) de même qu'au Bas-Saint-Laurent et au Témiscouata (**SBj**);
- **Sapinières orientales** : **SBb** et **SBj** à l'est de la longitude 67° O (secteurs de la **SBCG**, de la **SJNG** et de la **SJSG**), ce qui comprend les sites du plateau de la Gaspésie, en haute altitude (**SBb**), ainsi que ceux en haute Gaspésie (**SBj**) et à la baie des Chaleurs (**SBj**).

Pour la **synthèse palynostratigraphique des 8 secteurs** retenus, les données polliniques de 23 sites parmi les 35 de l'étape 1 ont été utilisées. Nous avons comparé les ZAP des 23 diagrammes polliniques et résumé les palynostratigraphies correspondantes à l'échelle des 8 secteurs retenus. Les 8 palynostratigraphies sectorielles ont été décrites, et la végétation postglaciaire des secteurs a été reconstituée à l'échelle des ZAP. Lorsque la concentration pollinique (**CP**) était disponible, le taux d'accumulation pollinique (**TAP**) total moyen des 8 secteurs a également été calculé à l'époque de chaque ZAP. La méthodologie de la synthèse des données par ZAP à l'échelle de 8 secteurs est discutée à la section 2.3.1, et les résultats sont présentés à la section 3.3.1.



**Figure 4.** Organigramme du cheminement méthodologique. Les numéros des sections où sont présentés les méthodes et les résultats sont indiqués entre parenthèses à la suite du titre des étapes.

Pour la **synthèse à l'échelle des provinces polliniques de l'est du Québec et du Labrador méridional**, nous avons comparé les 8 palynostratigraphies afin de déterminer quelles ZAP sont communes à autant de secteurs à une époque donnée. Chacune d'elles définit une province pollinique postglaciaire du territoire d'étude. En fin de compte, 8 provinces polliniques, chacune marquant une période de l'histoire de la végétation, ont été reconnues. Les végétations postglaciaires reconstituées aux 8 secteurs ont été comparées afin de décrire les principales phases de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional. La méthodologie de la synthèse des données résumées par province pollinique à l'échelle du territoire d'étude est discutée à la section 2.3.2, et les résultats sont présentés à la section 3.3.2.

**Étape 3 : Synthèse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat à l'échelle du millénaire.** Les données polliniques et climatiques des 35 sites (étape 1) de la base de données postglaciaires ont été résumées par tranches de 1 000 ans d'accumulation sédimentaire. Un tel résumé de l'information est une procédure communément appliquée aux synthèses paléoenvironnementales (p. ex. : Carcaillet et Richard 2000, Dyke 2005).

Tout d'abord, les données climatiques millénaires des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional ont permis d'étudier les changements millénaires concernant le climat du territoire d'étude, puis de vérifier le régionalisme de celui-ci à travers le territoire (sites bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent [région GSL] vs ceux plus en amont et à l'intérieur des terres [non-golfe du Saint-Laurent : région NGSL]). Ensuite, les données polliniques millénaires des 35 sites ont servi, d'une part, à étudier à l'aide de cartes la répartition (et la diversité) de la végétation sur le territoire à une période donnée et, d'autre part, à estimer sa densité.

En fin de compte, les résultats millénaires des 35 sites ont complété les résultats postglaciaires des 8 secteurs (étape 2) et permis de préciser la dynamique spatiotemporelle de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional depuis la déglaciation, mais cette fois-ci en lien avec le climat.

Le présent travail s'appuie sur une variété de traitements numériques appliqués aux données polliniques modernes et postglaciaires, exprimées en pourcentages. Pour tous (analyse en composantes principales, zonation des diagrammes et reconstitution du climat), les pourcentages des

différents taxons polliniques ont été transformés par une racine carrée afin de mieux rendre compte de la diversité de la végétation à proximité d'un site, notamment. Cette transformation augmente l'importance des taxons sous-représentés par leur pollen, et, au contraire, réduit celle des taxons surreprésentés.

Le nombre de données chronologiques disponibles par site étant relativement réduit, les modèles que nous avons établis sont donc approximatifs. Les dates au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) à la base des modèles chronologiques ont bien souvent été obtenues sur du sédiment en vrac d'une épaisseur considérable, vu les techniques disponibles à l'époque. Par ailleurs, le pas analytique est la plupart du temps large (plusieurs centimètres entre 2 assemblages polliniques successifs) en raison du caractère pionnier, exploratoire de plusieurs travaux anciens. En effet, les sites présentent en moyenne 3 échantillons par millénaire. Il est donc fort possible que la précision chronologique des ZAP ainsi que celle des résultats polliniques et climatiques des sites s'exprime en siècles pour l'ensemble du territoire à l'étude. En conséquence, nous pensons qu'une interprétation des résultats par millénaire, qu'elle soit basée sur le résumé des palynostratigraphies postglaciaires (section 3.3) ou encore sur celui de l'information pollinique et climatique (section 3.4), est la plus appropriée à cette recherche.

Les diagrammes polliniques originaux, malgré leurs lacunes, n'en livrent pas moins une représentation fidèle et, par interpolation, relativement continue des assemblages enregistrés dans les sédiments. À la lecture du texte, il sera toutefois important de garder en mémoire que les résultats témoignent principalement des changements millénaires du climat et de la végétation de l'est du Québec. Cette échelle temporelle est bien sûr différente de celle à laquelle travaillent les aménagistes forestiers, dont les travaux touchent davantage les changements séculaires ou décennaux des paysages relatifs à la forêt. Sa prise en compte n'en est pas moins utile pour établir les héritages anciens.

## 2.1 Analyse des données polliniques et climatiques modernes

La base de données modernes comprend 2 418 sites de l'Amérique du Nord et du Groenland, tous à l'est de la longitude 100° O (figure 5a). Ils sont répartis à travers 6 biomes : l'arctique, la toundra forestière, la forêt boréale, la forêt mixte, la forêt décidue et les prairies. Les données polliniques et climatiques sont tirées de la mégabase nord-américaine compilée par Whitmore *et al.* (2005). Elle

comprend actuellement 4833 sites et elle est disponible sur le site Internet du Laboratoire de paléoclimatologie et de climatologie du Département de géographie, environnement et géomatique à l'Université d'Ottawa<sup>4</sup>. Les données climatiques des sites ont été estimées par interpolation à partir des grilles du « *Climate Research Unit (CRU)* ». Elles sont basées sur les moyennes climatiques de 1961–1990 (New et al. 2002).

La base de données modernes comprend 56 taxons (pollen) et 70 variables climatiques et bioclimatiques. Elle intègre 25 taxons arboréens (incluant les bouleaux), 12 taxons arbustifs et 19 taxons herbacés, et les données mensuelles et saisonnières de la température, des précipitations, de l'ensoleillement, de même que plusieurs autres variables bioclimatiques comme les degrés-jours et l'évapotranspiration. Les données polliniques sont exprimées en pourcentages, et la somme de base utilisée pour le calcul des pourcentages inclut les 56 taxons. La liste complète des 56 taxons est présentée à l'annexe 2.

Une part importante de cette étude repose sur les liens entre les assemblages polliniques des sites et les domaines de végétation (reconstituée). La bonne qualité des liens entre l'assemblage pollinique et la végétation à proximité d'un site est essentielle pour qu'il soit possible de reconstituer la végétation postglaciaire à partir de la méthode des analogues modernes. En effet, l'assemblage pollinique postglaciaire est comparé à différents assemblages modernes. La végétation associée au meilleur assemblage moderne est ensuite transposée à l'assemblage postglaciaire. Les techniques d'ordination ont démontré que ces liens existent à l'échelle des biomes pour les sites du Canada, de l'Alaska et du Groenland au nord de la latitude 50° N ( $n = 831$  sites, Fréchette et al. 2008), ainsi que pour ceux de la forêt décidue, de la forêt mixte, de la forêt boréale et de la toundra forestière du Canada et des États-Unis ( $n = 2554$  sites, Fréchette et de Vernal 2013). La technique de groupement *K*-means, appliquée aux assemblages polliniques modernes des sites de la toundra forestière, de la forêt boréale et de la forêt tempérée mixte de l'est du Canada ( $n = 1010$  sites, voir l'annexe 6a pour leur répartition), a clairement démontré l'existence de ces liens, et ce, jusqu'à l'échelle des domaines bioclimatiques (Fréchette et al. 2018). L'assemblage pollinique des sites au nord de la latitude 50° N (forêt

boréale et toundra forestière) est numériquement bien distinct de celui observé aux sites de la forêt tempérée mixte, au sud, en réponse au gradient thermique induit par la latitude.

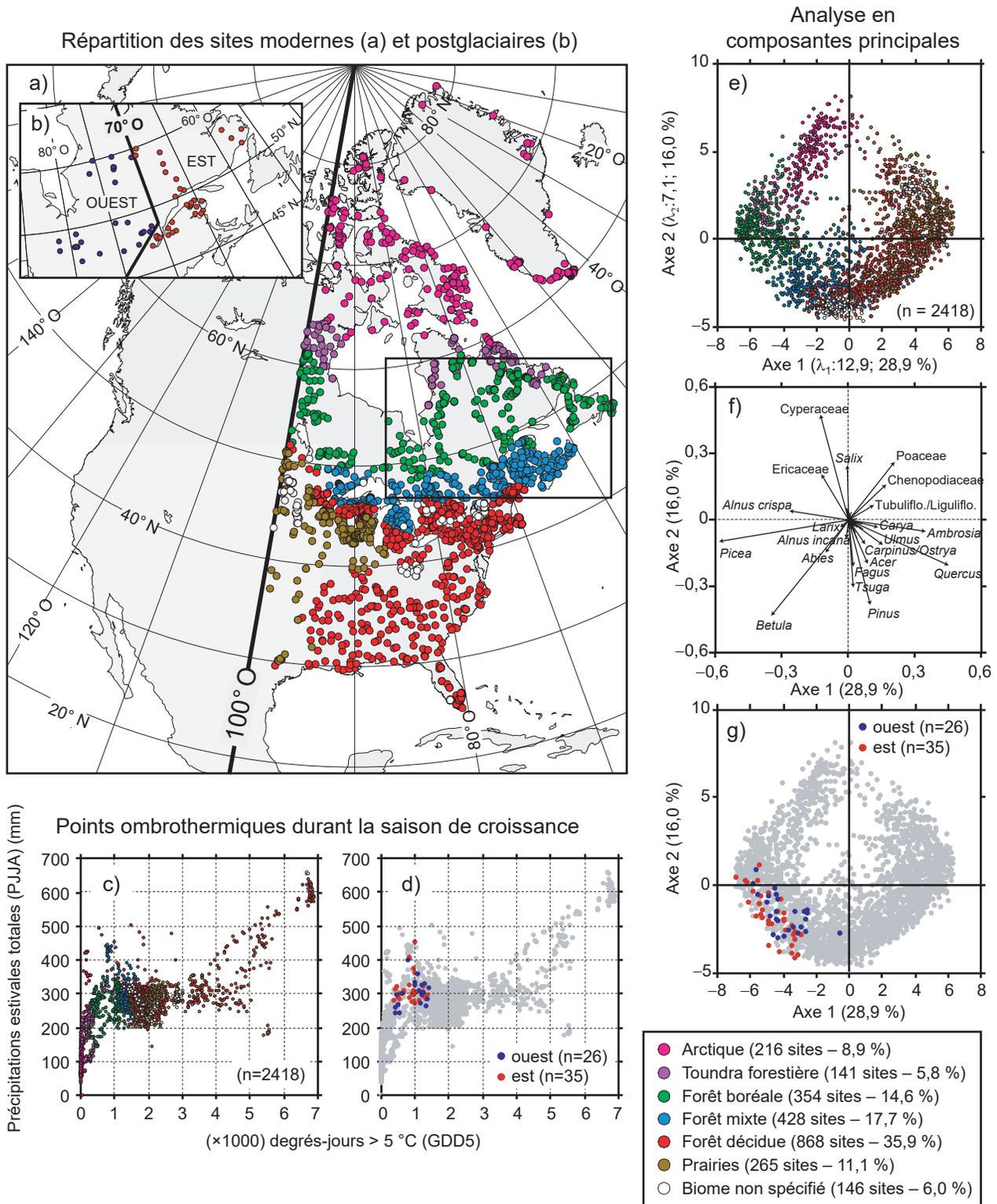
Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée aux 2418 assemblages polliniques de la base de données modernes, d'abord pour examiner la signature pollinique des sites de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland en lien avec le biome, puis pour comparer l'assemblage pollinique de surface des 35 sites postglaciaires avec celui des 2418 sites de la base de données modernes. Les valeurs et les vecteurs propres ont été calculés sur une matrice de dispersion (variance/covariance) entre descripteurs, c'est-à-dire les 56 taxons polliniques exprimés en pourcentage (Legendre et Legendre 1998). Les calculs de l'ACP ont été faits par algèbre matricielle avec le programme R<sup>(5)</sup> (version 3.4.0). La signature pollinique actuelle des 35 sites postglaciaires à l'étude a été comparée avec celle des 2418 sites de la base de données modernes (échantillons actifs) par interpolation. Les assemblages polliniques de surface des 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional (échantillons passifs) ont été interpolés dans l'espace réduit défini par les 2 premiers axes de l'ACP calculée sur les 2418 assemblages polliniques de la base de données modernes (échantillons actifs). Les assemblages polliniques de surface des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec (Fréchette et al. 2018) ont également été interpolés dans l'ACP pour comparaison.

## 2.2 Analyse des données polliniques postglaciaires

L'analyse des données polliniques des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional permettra d'établir la chronologie de l'accumulation des sédiments, de définir la palynostratigraphie des sites et, finalement, d'estimer le TAP total (étape 1; voir la figure 4). Le cadre chronologique de chaque site est basé sur la datation au radiocarbone (<sup>14</sup>C) des sédiments, étalonnée en années réelles avant aujourd'hui (AA) afin de corriger les défauts de la chronologie <sup>14</sup>C brute (Richard 2007). L'expression des résultats selon une échelle temporelle plutôt qu'une de profondeur a l'avantage de mettre en lumière les taux de changement dans le temps et de faciliter la comparaison des données polliniques et climatiques entre les sites.

<sup>4</sup> <http://www.lpc.uottawa.ca>

<sup>5</sup> <http://cran.r-project.org/>



**Figure 5.** Caractérisation de la base de données modernes couvrant l’est de l’Amérique du Nord et des bases de données postglaciaires de l’ouest et de l’est du Québec. a) Carte de la répartition des 2418 sites retenus de la base de données modernes couvrant l’est de l’Amérique du Nord et le Groenland, et utilisés dans cette étude pour reconstituer le climat et la végétation postglaciaires observée aux 35 sites de l’est du Québec et du Labrador méridional; b) emplacement des 35 sites postglaciaires qui ont fait l’objet d’une analyse dans cette étude et de 26 autres de l’ouest du Québec analysés par Fréchette *et al.* (2018); c) points ombrothermiques correspondant à la saison pendant laquelle les végétaux croissent (nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C [GDD5] vs précipitations estivales totales : juin, juillet et août [PJJJA]) des 2418 sites de la base de données modernes; d) projection des GDD5 et des PJJJA des sites de l’est (n = 35) et de l’ouest (n = 26) du Québec dans – →

La palynostratigraphie des 35 sites repose sur la segmentation objective des diagrammes polliniques en ZAP établies numériquement à l'aide d'un dendrogramme (voir la section 2.2.3).

Le climat et la végétation postglaciaires ont été reconstitués aux 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional à l'aide de la « méthode des analogues modernes ». Cette méthode tient pour acquis que si l'assemblage pollinique de 2 échantillons est identique, qu'ils soient contemporains ou de périodes différentes, cela signifie que les grains de pollen observés ont été produits par une végétation semblable et, donc, qu'ils témoignent d'un climat similaire. L'information actuelle (assemblage pollinique, climat et végétation) nécessaire aux reconstitutions est contenue dans la base de données modernes de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland (2 418 sites).

### 2.2.1 Description de la base de données

Elle comprend 35 sites, tous des lacs, qui sont répartis du domaine bioclimatique de la PL à celui de la SBj, entre les latitudes 47° et 55° N. Les données polliniques sont présentées sous la forme de diagrammes et ils sont livrés à l'annexe 3. Parmi les 35 diagrammes polliniques, seuls 4 sont inédits (tableau 1). Il s'agit de ceux des sites MATAMEK, EBR, DOLB et PERDU.

La somme de base utilisée pour le calcul des pourcentages des différents taxons comprend le pollen des arbres, des arbustes et des herbes,

mais exclut les spores de mousses et des ptéridophytes ainsi que le pollen des plantes aquatiques. À l'échelle des 35 sites, elle est de  $480 \pm 200$  grains (médiane = 490 grains). Sur chacun des diagrammes, seules les courbes polliniques des taxons arboréens, arbustifs et herbacés sont illustrées. Les taxons polliniques rares (avec un pourcentage toujours inférieur à 1 %) ont été regroupés sous les libellés « autres arbres », « autres arbustes » et « autres herbes ». Sur les diagrammes, les résultats sont présentés en fonction de la profondeur des sédiments, et les dates au radiocarbone (exprimées en années étalonnées AA) apparaissent à la gauche. La quantité totale de grains de pollen par centimètre cube de sédiment, c'est-à-dire la concentration pollinique (CP; grains·cm<sup>-3</sup>), est livrée à la droite des diagrammes. La CP est une mesure permettant d'estimer la densité de la végétation. La valeur de la CP est toutefois tributaire du nombre d'années requis pour la sédimentation d'un centimètre de matériel. C'est pourquoi nous utiliserons les taux nets d'accumulation pollinique (ou les influx polliniques totaux : TAP; grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) pour estimer les changements de la densité de la végétation (section 2.2.4). La valeur de la CP des sédiments n'est malheureusement pas disponible pour les 10 sites de la PL et de la PM récupérés à partir de la base de données NEOTOMA. Toutefois, la courbe de la CP ou du TAP total de ces sites est illustrée dans la publication originale associée à ces derniers, et l'information a été prise en considération au moment de l'interprétation. Les diagrammes polliniques ont été tracés avec le logiciel TGView 2.0.2<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Copyright 2004, Eric C. Grimm. Illinois State Museum, Research and Collections Center. 1011 East Ash Street. Springfield, IL 62703 (États-Unis).

### → Figure 5. (suite du titre)

l'espace des 2 418 sites de la base de données modernes; e) ordination de la note de l'assemblage pollinique moderne (en anglais : *sample score*) des 2 418 sites de l'est de l'Amérique du Nord sur les deux premiers axes d'une analyse en composantes principales (ACP); f) ordination des saturations des taxons (en anglais : *variable loadings*) selon les deux premiers axes de l'ACP; et g) projection de la note de l'assemblage pollinique actuel (de surface) des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional, et de 26 autres de l'ouest du Québec (échantillons passifs) dans l'espace réduit défini par les deux premiers axes de l'ACP des 2 418 assemblages modernes (échantillons actifs). Les assemblages polliniques et les valeurs des GDD5 (nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C) et des PJJJA des 2 418 sites de la base de données modernes de l'est de l'Amérique du Nord sont tirés de la base de données modernes de l'Amérique du Nord et du Groenland (n = 4 833 sites) (Whitmore et al. 2005). Les détails sur l'estimation du climat de la période actuelle des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional sont livrés à l'annexe 1. Pour l'ACP, le pourcentage des 56 taxons a été transformé par une racine carrée et les calculs de l'ACP ont été faits sur une matrice de dispersion (variance/covariance). Le graphique (f) présente seulement 21 taxons. Les résultats complets sont livrés à l'annexe 8. Les assemblages polliniques de surface des sites de l'est et de l'ouest du Québec sont illustrés dans le diagramme pollinique de la figure 6. Les détails sur la méthodologie de l'ACP appliquée aux 2 418 sites de l'est de l'Amérique du Nord (échantillons actifs) et à la projection des assemblages de surface des sites de l'est et de l'ouest du Québec (échantillons passifs, supplémentaires) sont livrés à la section 2.1.

Le nombre d'échantillons analysés pour leur contenu pollinique varie d'un site à l'autre. En moyenne, il y a 40 échantillons par site, donc autant d'assemblages polliniques postglaciaires. Ceci correspond à un assemblage pollinique à un intervalle d'environ 12 cm de sédiments (tableau 1). Le nombre de taxons sporopolliniques (pollen et spores) identifiés est aussi très variable. La moyenne est de 70 taxons sporopolliniques par site (min. = 42, max. = 107). Le nombre moyen de taxons ( $\mu_x$ ) est plus faible parmi les sites des pessières (PM et PL :  $\mu_x = 56$ ) que ceux des sapinières (SBj et SBb :  $\mu_x = 78$ ). Au total, près de 238 taxons différents (pollens, spores et algues) ont été identifiés par les différents pollenanalystes, à savoir 63 taxons arboréens incluant les bouleaux ( $\mu_x = 25$ ), 42 taxons arbustifs ( $\mu_x = 11$ ), 71 taxons herbacés ( $\mu_x = 18$ ) et près de 52 taxons de plantes aquatiques, de spores, de mousses et ptéridophytes ( $\mu_x = 15$ ). Aux taxons sporopolliniques s'ajoute l'identification des cénobes de *Pediastrum* ( $n = 10$ ), une algue verte de la famille des Hydrodictyaceae. Un si grand nombre de taxons s'explique, entre autres, par la précision de l'identification des grains et l'expérience du pollenanalyste. En effet, la plupart des analystes ont poussé l'identification des grains jusqu'au niveau de l'espèce, même si certains se sont limités à une identification au niveau du genre ou de la famille. La liste complète de tous les taxons identifiés est donnée à l'annexe 2a.

### 2.2.2 Chronologie des sites

La chronologie de l'accumulation sédimentaire des 35 sites a été estimée à partir des dates au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) des sédiments et de modèles chronologiques (modèles âge-profondeur). Les âges  $^{14}\text{C}$  conventionnels ont tous été transformés en âges étalonnés (exprimés en nombre d'années sidérales AA) avec le logiciel CALIB 7.0<sup>7</sup> et la base de données atmosphériques de l'hémisphère Nord IntCal13 (Reimer *et al.* 2013). Tous les âges discutés dans ce travail sont exprimés en années étalonnées AA. L'annexe 4 expose les détails pour tous les âges radiocarbones conventionnels et étalonnés de tous les sites.

Nous avons construit les modèles âge-profondeur avec le programme Clam 2.2 (Blaauw 2010). L'année de l'échantillonnage des sédiments sur le terrain (p. ex. 1977) a toujours été ajoutée en surface (profondeur : 0 cm), avec une erreur de  $\pm 5$  ans. Cet âge a été soumis au programme Clam sous la forme suivante : 1950 – l'année d'échantillonnage (p. ex. 1950 – 1977 = –27.

Dans un tel cas, un âge de –27 a été inscrit à 0 cm). Une courbe « *smooth spline* » a été tracée à travers les dates, et l'âge des sédiments (échantillons) a été estimé. Lorsque ce modèle générait des courbes traduisant mal la sédimentation (sites LD, ANGE et OUEL), une courbe polynomiale de deuxième ordre a été créée. Aux sites BOUCHX et MORO, une courbe polynomiale de troisième ordre a été préférée à celle du type « *smooth spline* ».

Certaines dates ont été exclues de la construction des modèles. Aux sites BEAZ, BOUCHX, CARIB, DIAB, DOLB, EULX, JARX, FOURX, OUEL, PERDU, TRIANG et WHITNEY, quelques dates jugées erronées ont été rejetées par les auteurs. Au site CARIB, nous avons exclu les dates issues du laboratoire de datation de l'Université du Québec, car elles étaient problématiques. Aux sites PERDU et DIAB, nous avons rejeté une date qui était bien à l'écart du modèle et d'un point de vue palynostratigraphique, « incompatible » avec celle des sites avoisinants. Les modèles âge-profondeur sont présentés au supplément 1 (disponible à part), et les âges  $^{14}\text{C}$  transformés en âges étalonnés par le programme Clam sont livrés à l'annexe 4. L'année d'échantillonnage des sédiments est donnée dans les graphiques des modèles âge-profondeur, juste à côté du sigle du site.

Dans l'ensemble, les sites présentent un assemblage pollinique tous les 345 ans en moyenne (tableau 1 et annexe 5b). Cette résolution est comparable à celle des 26 sites de l'ouest du Québec (350 ans, Fréchette *et al.* 2018). Le site BOUCHX (Asnong 2001, Asnong et Richard 2003) possède un très dense échantillonnage temporel, avec un assemblage pollinique environ tous les 174 ans ( $n = 62$  échantillons). Par contraste, le temps écoulé entre les échantillons au site WHITNEY (Lamb 1980) est beaucoup plus long, avec un échantillon tous les 650 ans environ ( $n = 21$  échantillons). Le pas analytique des données n'influence pas les résultats polliniques ou climatiques à proprement parler, mais il limite toutefois la précision chronologique des ZAP aux sites où l'espacement (donc la durée) entre les échantillons est important.

### 2.2.3 Zones d'assemblage pollinique des sites

Le diagramme pollinique constitue la représentation graphique de la palynostratigraphie du site. Les résultats de l'analyse peuvent être exprimés selon une échelle de profondeur (cm) ou une échelle temporelle (ans AA). Le diagramme pollinique est généralement segmenté en ZAP, c'est-à-dire une suite d'assemblages contigus et comparables. La

<sup>7</sup> <http://calib.org/calib/>

subdivision d'un diagramme en ZAP permet de simplifier sa palynostratigraphie. À l'échelle de la période postglaciaire, la palynostratigraphie d'un site reflète les changements dans les assemblages polliniques et, en ce sens, témoigne de l'histoire de la végétation à proximité de celui-ci depuis la déglaciation.

Nous avons segmenté les diagrammes polliniques des 35 sites en ZAP selon l'abondance (en pourcentage) des taxons (annexe 3). Cette segmentation a été établie à l'aide d'un dendrogramme calculé par le programme CONISS fourni avec le logiciel TGView (Grimm 1987). CONISS est un groupement hiérarchique agglomératif minimisant la dispersion totale des groupes, c'est-à-dire la somme des carrés en écart à la moyenne (en anglais, *total sum of squares* : TSS). L'intensité du groupement, qui est la valeur de la TSS, est affichée avec le dendrogramme, à l'extrême droite du diagramme pollinique. Les frontières des différentes ZAP sont illustrées par des traits horizontaux de styles variés. Pour chaque site, tous les taxons polliniques apparaissant sur le diagramme ont été soumis au groupement CONISS. Le nombre de taxons utilisés pour la délimitation des ZAP est par conséquent différent d'un site à l'autre. La valeur de la TSS associée au dernier groupement nous renseigne sur la variabilité des assemblages polliniques de la séquence. Plus cette valeur est élevée, plus la dissimilarité entre les groupes fusionnés est importante. Ceci peut marquer un changement notable dans la composition du couvert végétal; il s'agit donc d'un outil précieux pour interpréter les résultats. À l'inverse, si la valeur de la TSS associée à la fusion de 2 groupes est faible, cela témoigne d'un changement de végétation beaucoup plus subtil, du moins en ce qui a trait à sa représentation pollinique. Dans l'ensemble, les groupes présentant une TSS inférieure à 1 n'ont pas été considérés.

Les ZAP des 35 sites ont été numérotées (annexe 3). La numérotation tient compte de l'ordre (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>) des groupes illustrés sur le dendrogramme. La plupart des diagrammes polliniques ont été segmentés en 7 ZAP. Les sites du domaine de la PL, déglacés plus tardivement (env. 7500 ans AA), s'avèrent ceux qui sont les moins segmentés, avec en moyenne 4 ZAP.

#### 2.2.4 Taux d'accumulation pollinique total

Le TAP total dans les séquences sédimentaires ( $\text{grains}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$  pour tous les palynotaxons inclus dans le calcul de la somme pollinique) a été déterminé pour tous les échantillons pour lesquels la concentration pollinique a été établie par les pollenanalystes, c'est-à-dire pour les 22 sites des sapinières (SBb et SBj) de l'est du Québec,

pour les 2 sites de la PL au centre-nord du Québec (DAU, DEL1) et pour 1 site de la PM en Côte-Nord (MATAMEK). Pour les autres sites des pessières (PL et PM), la courbe du TAP total pour chaque site est disponible dans les publications originales. Le TAP total est influencé par le taux d'accumulation sédimentaire (TAS), lequel l'est à son tour par le modèle âge-profondeur. On doit tenir compte de ces éléments lors de l'interprétation des diagrammes.

Le TAP est une variable qui, pour des conditions d'accumulation sédimentaire et de production pollinique spécifiques inchangées dans le temps, renseigne sur la taille des populations végétales productrices de pollen. Ici, on postulera qu'une végétation dense émettra généralement plus de pollen dans l'air qu'une végétation clairsemée de même composition générale, c'est-à-dire affichant des assemblages polliniques similaires. En ce sens, une diminution du TAP total dans un diagramme peut être interprétée en première analyse comme une ouverture du couvert forestier (Seppä et Hicks 2006). Les limites du TAP pour estimer la densité du couvert forestier à une époque donnée sont présentées dans Fréchette et al. (2018) et reprises dans la discussion du présent mémoire (section 4.1), car le contexte de leur potentiel explicatif est différent.

Pour les sites des sapinières, le TAP moyen des principaux taxons a également été déterminé. Cette valeur, par exemple le TAP de *Picea* et d'*Abies*, nous renseigne sur l'abondance (ou la biomasse) des épinettes et des sapins dans le temps, autour d'un site, et sur le territoire à une époque donnée (Seppä et al. 2009).

#### 2.2.5 Reconstitution du climat post-glaciaire des sites

La reconstitution du climat à partir d'un assemblage pollinique par la méthode des analogues modernes est décrite en détail dans plusieurs publications, notamment dans celles de Fréchette et al. (2008, 2018). Ses forces et ses faiblesses sont discutées dans Birks et al. (2010). Dans la présente étude, nous avons recherché des assemblages polliniques actuels comparables aux assemblages polliniques postglaciaires à l'aide d'une mesure de dissimilarité : la mesure de corde au carré (*squared chord distance* : SCD; Overpeck et al. 1985). La mesure de corde correspond à la distance euclidienne calculée sur la racine carrée des pourcentages polliniques. Elle varie de 0 à 2, la valeur 2 signifiant que les 2 échantillons sont totalement différents. Un seuil est fixé pour la sélection des analogues à retenir. Au-delà de ce seuil, les échantillons sont considérés comme non analogues, donc

trop différents, et ne sont pas retenus pour le calcul du climat. Les formules mathématiques de la SCD et celle utilisée pour reconstituer les anciens climats sont livrées dans Fréchette *et al.* (2018).

La reconstitution du climat est basée sur celui des analogues modernes retenus. Son calcul tient compte de la dissimilarité entre l'assemblage postglaciaire et les assemblages actuels. Lors de l'interprétation du climat d'un site, il est important de considérer la dissimilarité entre les analogues retenus et l'assemblage pollinique postglaciaire pour lequel le climat a été reconstitué. Si la distance est grande, c'est-à-dire qu'elle s'approche du seuil de sélection des analogues, le climat reconstitué doit être interprété prudemment. Une grande distance est néanmoins révélatrice, car elle indique une végétation sans analogue contemporain, ce qui est d'une importance capitale.

La base de données modernes de 2418 sites utilisée pour reconstituer le climat comprend 56 taxons. Nous avons donc harmonisé les taxons polliniques dénombrés aux 35 sites postglaciaires aux 56 taxons de la base de données, et calculé de nouveaux pourcentages. Si la somme pollinique d'un échantillon postglaciaire était inférieure à 100 grains, le climat de celui-ci n'a pas été reconstitué. Les données climatiques des 5 meilleurs analogues modernes ont été retenues pour reconstituer le climat postglaciaire. Le seuil de la SCD sous lequel 2 échantillons sont considérés comme analogues a été fixé par le logiciel à 0,50.

Parmi les 70 variables climatiques et bioclimatiques reconstituées, nous avons privilégié la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA, soit celle de juillet pour le Québec), la température moyenne du mois le plus froid (MTCO, soit celle de janvier pour le Québec), les précipitations annuelles totales (PANN) et l'ensoleillement estival (SJJA), exprimé en pourcentages d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil. La reconstitution de l'ensoleillement permet de documenter les changements de la nébulosité et l'intensité des grands vents d'ouest (*westerlies*) dominés par de l'air sec générant du temps clair et ensoleillé (Fréchette *et al.* 2018). Dans les régions de marge continentale, la présence d'un épais brouillard pourrait expliquer une diminution de l'ensoleillement. Le degré de fiabilité ( $r^2$  ou coefficient de corrélation de

Pearson, et RMSE ou erreur quadratique moyenne) des reconstitutions climatiques résultant de la méthode des analogues modernes est le suivant :

- MTWA :  $r^2 = 0,96$ , RMSE = 1,2 °C;
- MTCO :  $r^2 = 0,93$ , RMSE = 2,8 °C;
- PANN :  $r^2 = 0,82$ , RMSE = 139 mm;
- SJJA :  $r^2 = 0,95$ , RMSE = 2,6 %).

Dans la présente recherche, les résultats climatiques sont exprimés sous forme d'anomalies par rapport aux valeurs actuelles, c'est-à-dire aux normales climatiques 1961–1990. Les valeurs actuelles des variables reconstituées aux sites proviennent de la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005) et sont livrées à l'annexe 1a.

Nous avons reconstitué le climat des 35 sites avec le module *bioindic*<sup>8</sup> construit avec une plateforme R<sup>9</sup>, qui fournit 2 fichiers de résultats. Le premier contient les données climatiques reconstituées et la dissimilarité (SCD) entre les assemblages polliniques postglaciaires et les analogues modernes retenus. Le second renferme les coordonnées géographiques des analogues, le biome auquel ils appartiennent et leur végétation estimée à l'échelle des domaines bioclimatiques, lorsque disponible. Les données du second fichier ont ensuite servi à reconstituer la végétation postglaciaire des 35 sites. Les courbes des reconstitutions climatiques des 35 sites sont présentées au supplément 2 (disponible à part).

Dans l'ensemble, les reconstitutions climatiques de chaque site sont fiables, en ce sens que les analogues modernes retenus ont une faible dissimilarité (SCD) avec les assemblages polliniques postglaciaires. Leur SCD avec les assemblages postglaciaires est généralement inférieur à 0,20, bien en deçà du seuil d'acceptabilité fixé à 0,50. La SCD des assemblages polliniques est toutefois plus élevée dans le sédiment minéral à la base que dans le sédiment organique supérieur. Ces échantillons basaux, dans les premiers sédiments inorganiques postglaciaires, correspondent de façon générale à des apports polliniques lointains dans des paysages localement dépourvus de végétation, ou presque. Finalement, les quelques analogues en provenance des prairies et à SCD élevée ont conduit à la reconstitution d'une végétation de TP ouverte (ZAP SBRN-2 et SJRS-2; voir les tableaux 3d et 3e à la section 3.3.1).

<sup>8</sup> <https://www.eccorev.fr/spip.php?article389>

<sup>9</sup> <http://cran.r-project.org>

## 2.2.6 Reconstitution de la végétation postglaciaire des sites

L'interprétation d'un assemblage pollinique sur le plan de la végétation repose sur les liens établis (ou à établir) entre le pollen et la végétation actuelle dans une base de données modernes. Comme nous avons reconstitué le climat postglaciaire des 35 sites avec la méthode des analogues modernes, la contrepartie pollinique actuelle correspondant aux assemblages postglaciaires des sites était connue, mais pas la végétation à proximité de ces derniers, car cette information ne figure pas dans la mégabase de données de Whitmore et al. (2005). Dans Fréchette et al. (2018), nous l'avons donc estimée à l'échelle du domaine bioclimatique pour tous les sites de la toundra forestière, de la forêt boréale et de la forêt tempérée mixte de l'est du Canada (annexe 6a, n = 1010 sites, soit un sous-ensemble de la mégabase de données de Whitmore et al. 2005). Pour ce faire, nous avons comparé les 1010 assemblages polliniques les uns avec les autres et les avons regroupés selon leur degré de ressemblance. La méthode de groupement *K*-means (MacQueen 1967, cité dans Legendre et Legendre 1998) a été utilisée, et 15 groupes d'assemblages polliniques ont été identifiés (annexe 6b). La technique a montré que l'assemblage pollinique des sites de la forêt boréale et de la toundra forestière (groupe A) est numériquement bien distinct de celui aux sites de la forêt mixte (groupe B), en réponse au gradient thermique induit par la latitude (Fréchette et al. 2018). La technique a également permis d'opposer l'assemblage pollinique des sites à l'ouest et à l'est d'environ 75° de longitude O, tant dans la forêt boréale que dans la forêt mixte, cette fois-ci en réponse aux conditions maritimes voisines. Nous avons estimé la végétation des 15 groupes à l'échelle des domaines bioclimatiques, puis ajouté cette information à la base de données réduite. Cet ajout est essentiel à la reconstitution de la végétation basée sur la méthode des analogues modernes, car il fournit le contexte bioclimatique (phytoclimatique) actuel des sites de la base de données.

Nous avons reconstitué la végétation postglaciaire des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional en nous appuyant sur : (1) le biome, tel que livré dans Whitmore et al. (2005), auquel appartiennent les analogues modernes retenus pour la reconstitution du climat; (2) la végétation des analogues estimée à l'échelle du domaine bioclimatique (voir ci-dessus les 15 groupes *K*-means,

le supplément 3 [disponible à part] et l'annexe 6); (3) la description de l'assemblage pollinique type de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec (annexe 7) et (4) l'abondance et la variabilité des taxons indicateurs dans les assemblages postglaciaires (annexe 3). Par exemple, nous avons considéré l'abondance des essences boréales, comme *Picea* et *Alnus crispa*<sup>10</sup>, par rapport à celle d'espèces plus thermophiles, comme *Pinus strobus*. Cette reconstitution a aussi tenu compte des principes établis par Richard (1977), notamment pour les assemblages polliniques initiaux riches en grains de pollen de source lointaine en raison d'apports locaux et régionaux réduits, tant que la végétation arborescente ne s'était pas encore installée (phase d'afforestation). La végétation postglaciaire reconstituée aux 35 sites est présentée à l'échelle des ZAP (section 3.3.1) et des millénaires (section 3.4.3).

## 2.3 Reconstitution de l'histoire de la végétation

La synthèse des données polliniques postglaciaires des 35 sites a permis de dresser le portrait de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional depuis la déglaciation (étape 2; voir la figure 4). Nous avons synthétisé les données d'abord à l'échelle des ZAP des 8 secteurs, puis à l'échelle des provinces polliniques du territoire. L'étude des données polliniques postglaciaires des sites, résumées par secteur, simplifie leur comparaison. Cette procédure a l'avantage de mettre en lumière le synchronisme (ou l'asynchronisme) des principaux changements de végétation survenus sur le territoire depuis la déglaciation. En principe, l'influence du climat devrait se traduire par un changement de végétation relativement simultané dans l'ensemble des sites du territoire. Cette vue de synthèse masque toutefois quelques spécificités de chacun des diagrammes polliniques.

### 2.3.1 Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle de la palynostratigraphie des 8 secteurs

Afin d'établir un cadre spatiotemporel des assemblages polliniques postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador, nous avons comparé les palynostratigraphies (les ZAP) de chacun des 35 sites (annexe 3), puis nous les avons résumées à l'échelle des 8 secteurs retenus (PLOT, PMCN, PMSL, SBRN, SJRS, SBCG, SJNG, SJSG). Les résumés de la palynostratigraphie et de la végétation postglaciaires des 8 secteurs sont discutés à l'échelle des 4 régions de la Boréale définies par les

<sup>10</sup> D'après la base de données des plantes vasculaires du Canada (VASCAN), le taxon *Alnus crispa* (Aiton) Pursh est un synonyme de *Alnus alnobetula* subsp. *crispa* (Aiton) Raus.

domaines bioclimatiques (pessières occidentales, pessières orientales, sapinières occidentales, sapinières orientales).

Les sites de la PL du centre-nord du Québec (secteur PLCN : DAU-DEL1) n'ont pas été considérés pour la synthèse à l'échelle des ZAP et des provinces polliniques en raison de leur pas analytique faible par rapport à celui des autres, notamment à ceux du secteur de la PLOL. Le site SABLE a été exclu du secteur de la PLOL parce que son diagramme ne couvre que la période comprise entre env. 8 000 et 4 500 ans AA. Le site WHITNEY a été exclu du secteur de la PMSL parce que la chronologie de ses ZAP est grandement affectée par le long pas analytique de ses données (env. 650 ans). Les sites ANGE (secteur de la SBRN), BOUC (secteur de la SJRS), OUEL (secteur de la SJRS) et TUR (secteur de la SBCG) ont également été exclus en raison d'un long pas analytique des données (> 500 ans). Les sites MIMI (secteur de la SBRN), DIAB (secteur de la SBCG) et RAYMVP (secteur de la SJSG) ont été exclus vu les imprécisions dans leur modèle chronologique. Au site MIMI, les dates  $^{14}\text{C}$  sont concentrées uniquement à la base de la séquence sédimentaire (annexe 4). Au site DIAB, il est possible que le lac ait connu un assèchement au début de la période postglaciaire et que l'estimation de l'âge des sédiments de l'époque soit erronée (données non publiées). Quant au site RAYMVP, l'épaisseur du sédiment organique est considérable (env. 1 000 cm), mais seulement 2 niveaux ont été datés. Finalement, le site EULX (secteur de la SJNG) a été exclu parce qu'il est très près du site JARX, et parce que son pas analytique y est deux fois plus long (tableau 1 et annexe 5b). À l'exception du secteur de la SJRS, le résumé des ZAP des sites par secteur est toujours basé sur l'examen du diagramme pollinique de 3 sites. En fin de compte, 23 sites ont été retenus. La liste des sites inclus dans chaque secteur est livrée au tableau 1.

Chacun des 8 secteurs possède sa propre palynostratigraphie postglaciaire. La méthodologie employée pour établir la palynostratigraphie d'un secteur est décrite en détail dans Fréchette *et al.* (2018). Elle se fait en trois temps :

- Identification des ZAP communes aux sites du secteur et des taxons clés de la ZAP, ceux-ci définissant les provinces polliniques (voir la section 2.3.2).
- Identification précise des frontières entre les ZAP des sites au sein du secteur, à l'aide de la courbe de la fréquence en pourcentages des taxons clés.

- Calcul de la chronologie moyenne des ZAP présentes dans le secteur.

Les ZAP des 8 palynostratigraphies sectorielles ont été numérotées et nommées. Leur nom tient compte de l'ordre de représentation (%) des taxons dans les assemblages. Les espèces des genres *Betula* et *Pinus* étant fortement surreprésentées par leur pollen, leur nom domine la nomenclature des ZAP sans que cela reflète toujours leur abondance réelle dans la végétation correspondante. Par ailleurs, certains taxons trop faiblement représentés par leur pollen pour participer au nom des assemblages par ordre de dominance pollinique ont toutefois aussi été utilisés parce qu'ils sont étroitement associés à un domaine bioclimatique. Ils correspondent à des **taxons indicateurs** (c'est-à-dire les taxons clés des domaines bioclimatiques, par exemple, *Picea*, *Abies*, *Acer* et *Alnus crispa*, qui ne sont pas nécessairement les plus abondants en pourcentage). La chronologie des sites n'a pas été prise en compte pour l'identification des principales ZAP, car celles-ci ont été identifiées sur les diagrammes et ordonnées en fonction de la profondeur.

À l'échelle des secteurs, il est normal que certaines ZAP traduisent des changements de végétation qui ne sont pas nécessairement liés à la végétation régionale. Par exemple, certains apports polliniques, comme ceux de *Pinus strobus*, peuvent n'être que l'écho de changements extrarégionaux. Il ne faut donc pas trop s'attarder aux légères différences observées à travers les diagrammes polliniques des sites d'un même secteur.

La synthèse de la végétation postglaciaire des régions des pessières et sapinières, toutes deux subdivisées en parties occidentale et orientale, repose sur la palynostratigraphie des 23 sites regroupés en 8 secteurs et sur la comparaison des assemblages postglaciaires des sites avec les assemblages de la base de données modernes (section 2.2.6).

### 2.3.2 Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle des 8 provinces polliniques

Afin de décrire l'histoire postglaciaire de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional, nous avons comparé les palynostratigraphies sectorielles et identifié les ZAP communes aux 8 secteurs. Elles définissent les **provinces polliniques** postglaciaires du territoire, chacune marquant une période de l'histoire de la végétation. Le nom des provinces polliniques tient compte de quelques **taxons clés** (c'est-à-dire ceux caractérisant le mieux la province) dont le pourcentage est généralement maximal à l'époque couverte pour la province en question.

Nous avons comparé les végétations postglaciaires reconstituées aux 8 secteurs, puis décrit les principales phases de l'histoire postglaciaire de la végétation.

À l'échelle du postglaciaire, Richard (1977) a proposé les 3 grandes phases suivantes du développement séquentiel de la végétation : **la phase non arboréenne, la phase d'afforestation** et enfin **la phase forestière**, partout où ce fut possible dans les régions maintenant constituées de forêts. C'est dans ce cadre que nous avons décrit les végétations postglaciaires.

## 2.4 Dynamique spatio-temporelle de la végétation et du climat à l'échelle du millénaire

Afin de comparer les sites et les secteurs, puis décrire l'histoire de la végétation postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional en lien avec le climat, nous avons résumé les données polliniques et climatiques des 35 sites sur une base temporelle, c'est-à-dire à l'échelle du millénaire, par tranche de 1 000 ans d'accumulation sédimentaire (étape 3; voir la figure 4). Les bornes utilisées pour le calcul des moyennes par millénaire sont les mêmes que celles utilisées par Fréchette et al. (2018) : 0 (500 à 0) ans AA, 1 000 (1 500 à 500) ans AA, 2 000 (2 500 à 1 500) ans AA, etc. Seules les données polliniques et climatiques des échantillons au-dessus de la date basale des sédiments ont servi au calcul des moyennes millénaires.

Nous avons utilisé les résultats millénaires des 35 sites pour décrire la dynamique spatio-temporelle de la végétation et du climat depuis la déglaciation : d'abord en étudiant l'histoire du climat postglaciaire et de son régionalisme à travers le territoire, puis en cartographiant la végétation répartie sur le territoire à une période donnée, de manière à en évaluer la diversité.

Il y a bien sûr un danger de raisonnement circulaire à confronter la reconstitution de la végétation basée sur les assemblages polliniques avec celle du climat, elle-même déduite de ces mêmes assemblages. La technique des analogues modernes pour reconstituer le climat est toutefois une méthodologie répandue (Marsicek et al. 2018, Watson et al. 2018), qui correspond assez bien aux résultats livrés par d'autres méthodes de reconstitution climatique (chironomidés, diatomées, etc.). Pour la discussion de la végétation millénaire en lien avec le climat de l'époque, cette possibilité d'un raisonnement circulaire n'est par ailleurs que partiellement fondée. En effet, le climat millénaire constitue une moyenne

basée sur l'ensemble des sites de l'est du Québec et du Labrador méridional, alors que la végétation millénaire a été reconstituée à tous les sites individuellement. Nous avons confiance que cette façon de faire minimise les problèmes de circularité du raisonnement évoqués plus haut.

### 2.4.1 Climat millénaire de l'est du Québec et du Labrador méridional

Afin de traduire les changements du climat postglaciaire à la même échelle temporelle que pour la végétation, nous avons résumé l'information climatique des 35 sites par millénaire, de 11 000 ans AA à aujourd'hui, pour les variables climatiques MTWA, MTCO, PANN et SJJA, exprimées en anomalie par rapport aux valeurs actuelles. Contrairement au résumé de la palynostratigraphie qui est basé sur 23 sites (sections 2.3.1 et 3.3.1), les résultats climatiques millénaires s'appuient sur la totalité des 35. Nous avons eu recours aux trois calculs suivants :

- 1- **Calcul des anomalies climatiques aux 35 sites.** Nous avons exprimé les données climatiques reconstituées pour chacun des sites en anomalie par rapport aux valeurs actuelles, en soustrayant la valeur actuelle de celle reconstituée.
- 2- **Calcul des anomalies climatiques millénaires aux 35 sites.** Pour chaque site, nous avons ensuite calculé l'anomalie climatique pour chaque tranche de 1 000 ans de sédiments entre l'époque actuelle et 11 500 ans AA.
- 3- **Calcul des anomalies climatiques millénaires pour l'ensemble du territoire à l'étude.** Pour chaque millénaire, nous avons calculé l'anomalie climatique moyenne à partir de la donnée millénaire de chaque site. Pour la majorité des tranches d'âge, l'anomalie climatique moyenne est basée sur moins de 35 sites, en raison de l'absence de données pour certains d'entre eux (p. ex. : non-disponibilité de sédiments de surface, aucun échantillon dans la tranche d'âge en question).

Sauf pour les 3 premiers millénaires (11 000, 10 000 et 9 000 ans AA), les calculs sont toujours basés sur les données de plus de 30 sites, avec en moyenne 31 sites par millénaire. Le nombre de données par millénaire est aussi différent d'un site à l'autre en raison du pas analytique (et donc temporel) variable. Le nombre total de données par millénaire varie de 60 (0 an AA, époque actuelle) à 119 (6 000 ans AA), avec en moyenne 95 données par 1 000 ans.

### 2.4.2 Régionalisme du climat submillénaire dans l'est du Québec et le Labrador méridional

Afin d'étudier la variabilité du climat post-glaciaire sur l'ensemble du territoire, nous avons créé 2 groupes de sites en fonction de leur emplacement par rapport au golfe du Saint-Laurent. Durant les premiers millénaires de l'époque post-glaciaire, l'évacuation d'eaux de fonte de la calotte glaciaire laurentidienne le long des marges continentales atlantiques et la vidange des grands lacs proglaciaires (Agassiz et Ojibway) ont perturbé les conditions des eaux de surface dans le golfe du Saint-Laurent (de Vernal *et al.* 1993, Levac *et al.* 2011). Manifestement, elles ont aussi influencé le climat et l'afforestation des sites à proximité (Anderson *et al.* 2007). Les changements dans les conditions des eaux de surface liés aux apports d'eaux de fonte ou de vidange sont relativement brusques, et leur signature dans les séquences sédimentaires est observable, par surcroît, à une échelle de temps submillénaire.

Le premier groupe, la région « **GSL : golfe du Saint-Laurent** », comprend les sites de la PM du sud du Labrador (secteur de la PMSL : sites EAGLE, MORAINÉ et HOPESIM) et de la Côte-Nord (secteur de la PMCN : sites PETEL, MATAMEK et LD), et ceux de la SBj de la côte nord de la Gaspésie (secteur de la SJNG : sites PERDU, JARX et BOUCHX). Ces 9 sites sont « adjacents » au golfe du Saint-Laurent et concentrés dans sa partie septentrionale. Le second groupe, la région « **NGSL : non golfe du Saint-Laurent** », comprend les sites de la SBb de la rive nord du Saint-Laurent (secteur de la SBRN : sites MADE, MAIN et MARC) et du centre de la Gaspésie (secteur de la SBCG : sites DOLB, EBR et TRIANG), et ceux de la SBj de la rive sud du Saint-Laurent (secteur de la SJRS : sites MORO, FOURX et BEAZ) et de la côte sud de la Gaspésie (secteur de la SJSG : sites CARIB et ROBIN). Ces 11 sites se trouvent en amont du golfe ou près de la baie des Chaleurs, et dans l'ensemble, ils sont plus à l'intérieur des terres que ceux de la région GSL. Les données relatives aux sites de la PL de l'ouest du Labrador (secteur de la PLOL : sites COGHILL, HARRIE, GRAS et SABLE) et du centre-nord du Québec (secteur de la PLCN : sites DAU et DEL1) n'ont pas été considérées pour le calcul du climat submillénaire de la région NGSL, car ils sont trop éloignés. Pour la période comprise entre 11 000 ans AA et aujourd'hui, les 9 sites de la région GSL présentent une donnée climatique reconstituée tous les 255 ans, tandis que les 11 autres de la région NGSL en ont une tous les 355 ans.

L'étude du régionalisme du climat submillénaire repose sur le résumé de l'information climatique des sites par tranche de 250 ans, de 11 000 ans AA à aujourd'hui, pour les variables climatiques MTWA, MTCO, PANN et SJJA, exprimées en anomalie par rapport au climat actuel. La dissimilarité maximale moyenne ( $SCD_{max}$ ), c'est-à-dire celle entre le 5<sup>e</sup> et dernier analogue moderne retenu et l'assemblage pollinique postglaciaire, a également été calculée par tranche de 250 ans. Contrairement au résumé du climat millénaire qui est basé sur 35 sites (sections 2.4.1 et 3.4.1), les résultats climatiques à l'échelle submillénaire (250 ans) s'appuient sur 20 d'entre eux, regroupés en 2 régions.

Nous avons appliqué le protocole suivant pour résumer l'information par tranche de 250 ans :

- 1- **Calcul des anomalies climatiques aux 20 sites.** Nous avons exprimé les données climatiques reconstituées pour chacun des échantillons d'un site en anomalie par rapport aux valeurs actuelles, en soustrayant la valeur actuelle de celle reconstituée.
- 2- **Estimation par interpolation des anomalies climatiques à tous les 250 ans aux 20 sites.** Pour chaque site, nous avons ensuite estimé par interpolation la valeur de l'anomalie climatique tous les 250 ans. Cette estimation découle d'une régression avec lissage tracée parmi les anomalies climatiques reconstituées pour les échantillons de la séquence. L'estimation du climat tous les 250 ans a été faite uniquement pour les tranches d'âge plus jeune que celui de la date basale. Par exemple, dans le cas d'un site ayant une date basale de 7 800 ans AA, l'estimation du climat par interpolation tous les 250 ans porte uniquement sur les tranches d'âge comprises entre 7 500 ans AA et aujourd'hui.
- 3- **Calcul des anomalies climatiques submillénaires pour chacune des 2 régions.** Pour chaque tranche de 250 ans, nous avons calculé l'anomalie climatique moyenne de la région à partir de la donnée estimée tous les 250 ans à chaque site qui y appartient. Le climat submillénaire de la région GSL est basé sur les données de 9 sites, et celui de la région NGSL, sur celles de 11 sites. Pour la région GSL, l'anomalie climatique submillénaire moyenne repose sur moins de 9 sites pour les tranches d'âge comprises entre 7 750 et 11 000 ans AA. Pour la région NGSL, elle est basée sur moins de 11 sites pour les tranches d'âge de 0 à 250 ans et de 8 250 à 11 000 ans AA.

### 2.4.3 Répartition de la végétation millénaire dans le territoire à l'étude

Afin d'étudier la répartition (et la diversité) de la végétation postglaciaire à travers l'est du Québec et le Labrador méridional et de la mettre en lien avec les changements millénaires du climat, nous avons résumé les données polliniques des 35 sites par tranche de 1000 ans d'accumulation sédimentaire, en ayant recours aux mêmes bornes que celles utilisées pour le calcul du climat millénaire. L'accent a été mis sur les millénaires 0, 2000, 4000, 6000, 8000 et 10000 ans AA. Les diagrammes polliniques complets de tous les millénaires depuis 11000 ans sont présentés au supplément 4 (disponible à part). L'information pollinique par millénaire a été résumée de la manière suivante :

- 1- **Calcul des assemblages polliniques millénaires aux 35 sites.** Pour chaque site, nous avons calculé un assemblage pollinique moyen par tranche de 1000 ans de sédiments. Dans l'ensemble, les données des sites couvrent 10 millénaires.
- 2- **Harmonisation de la taxonomie.** Nous avons harmonisé la taxonomie des grains de pollen identifiés aux 35 sites pour être en mesure de comparer leurs assemblages polliniques millénaires les uns avec les autres. Nous avons retenu les 56 taxons utilisés pour les reconstitutions climatiques (voir l'annexe 2d pour plus de détails sur leur sélection).
- 3- **Construction d'un diagramme avec les assemblages polliniques millénaires des 35 sites.** Pour chaque millénaire, nous avons construit un diagramme pollinique illustrant les assemblages moyens des 35 sites de la période en question.
- 4- **Comparaison des assemblages polliniques millénaires des 35 sites, et définition de groupes.** Nous avons comparé les assemblages millénaires moyens des sites les uns avec les autres, puis nous les avons regroupés à l'aide du dendrogramme produit par le programme CONISS. Tout comme pour la délimitation des ZAP des 35 diagrammes polliniques à l'aide d'un dendrogramme (section 2.2.3), nous avons transformé les pourcentages millénaires des différents taxons par racine carrée. Nous avons considéré 4 ordres de groupement illustrés par des traits de styles différents. Les groupes définis ont tous une TSS supérieure à 1. Le groupement de 1<sup>er</sup> ordre, le plus important, correspond à la dernière fusion et reflète sans doute un changement majeur de végétation. À l'opposé, les groupements de 4<sup>e</sup> ordre, dont la TSS est d'environ 1, témoignent d'un changement plus subtil dans la végétation.
- 5- **Illustration des couverts végétaux millénaires reconstitués sur une carte.** Pour chaque période de 1000 ans, nous avons reporté les groupes identifiés par dendrogramme sur des cartes afin de permettre l'étude de la répartition (et de la diversité) de la végétation à travers le territoire à un millénaire donné. L'assemblage pollinique des groupes a été interprété sur le plan de la végétation, et l'assemblage type des végétations millénaires a été décrit. La végétation a été reconstituée avec la méthode décrite à la section 2.2.6.

Finalement, nous avons résumé le TAP total (exprimé en grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) des échantillons par tranche de 1000 ans. La courbe du TAP total millénaire est basée sur les 25 sites pour lesquels la concentration pollinique est disponible (section 2.2.4).



## Chapitre 3 – Résultats

La présentation des résultats suit le même ordre que pour la méthodologie. Les liens entre les différents résultats sont présentés dans l'organigramme de la figure 4.

Les résultats de l'analyse sur les données polliniques des 35 sites consignées dans la base de données postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional (section 3.2) et la synthèse de la palynostratigraphie et de la végétation postglaciaire à l'échelle de 8 secteurs (section 3.3) sont discutés à l'échelle de 4 régions, soit les pessières (PL, PM) et les sapinières (SBb, SBj), subdivisées en parties occidentale et orientale. Une discussion des résultats obtenus à l'échelle des domaines bioclimatiques (PL, PM, SBb, SBj), comme celle utilisée pour décrire les résultats de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018) n'est pas appropriée dans le cas présent. En effet, les sites de l'est du Québec et du Labrador méridional sont moins bien répartis spatialement à travers la séquence des domaines bioclimatiques que ceux de l'ouest du Québec.

### 3.1 Positionnement des 35 sites d'étude dans le contexte des données polliniques et climatiques modernes de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland

Les points ombrothermiques des 2418 sites modernes de l'est de l'Amérique du Nord et du Groenland durant la saison de croissance (précipitations estivales [juin, juillet, août] totales [PJJA] vs nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C [GDD5]) sont présentés à la figure 5c. Le graphique montre que les GDD5 distinguent bien les 6 biomes, alors que les PJJA ne le permettent pas aussi clairement. À titre comparatif, nous avons comparé les points ombrothermiques des 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional aux données des 2418 sites de la base de données modernes et à celles des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018). Le résultat est présenté à la figure 5d. Comme attendu, les données des GDD5 et des PJJA des sites postglaciaires de l'est et de l'ouest du Québec se comparent à celles des sites modernes de la forêt boréale et de la forêt mixte à travers l'est de l'Amérique du Nord. Les PJJA sont de l'ordre de 300 mm, alors que les GDD5 varient de 500 à 1500 degrés-jours.

L'ordination de la note des 2418 assemblages polliniques de la base de données modernes, selon les deux premiers axes de l'ACP, est présentée à la

figure 5e. Le résultat met en évidence un gradient circulaire des assemblages polliniques en lien avec le biome auquel appartient le site. Ce gradient va des prairies à l'Arctique; il est en partie lié au taux de variation de la température des sites, notamment les GDD5 (figure 5c). Les assemblages de la forêt mixte tempérée sont en position mitoyenne. L'assemblage pollinique des sites de la forêt mixte, de la forêt boréale, de la toundra forestière et de l'Arctique est distinct de celui caractéristique des sites de la forêt décidue et des prairies (figure 5e). Sur le 1<sup>er</sup> axe de l'ACP, les assemblages riches en pollen d'herbes rudérales (p. ex. *Ambrosia*) et d'espèces thermophiles (p. ex. le chêne [*Quercus*]) s'opposent clairement à ceux riches en essences boréales comme l'épinette (*Picea*) et l'aulne crispé (*Alnus crispa*) (figure 5f, annexe 8). Le 2<sup>e</sup> axe de l'ACP oppose les assemblages de la toundra forestière et de l'Arctique (Cyperaceae, Poaceae et *Salix*) à ceux de la forêt mixte tempérée (*Betula*, *Pinus* et *Tsuga*).

L'interpolation faite des assemblages polliniques de surface des 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional et des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018) met donc en évidence que leur signature pollinique actuelle se compare à celle des sites de la forêt boréale et de la forêt mixte tempérée de la base de données modernes couvrant l'est de l'Amérique du Nord (figure 5g). La proportion de pollen de *Betula* dans les assemblages est généralement plus importante dans l'est que dans l'ouest du Québec.

### 3.2 Données polliniques postglaciaires

#### 3.2.1 Assemblages polliniques des sédiments de surface

L'assemblage pollinique « moderne », soit celui des sédiments de surface des 35 sites du territoire couvert par cette étude, est illustré dans le diagramme de la figure 6. L'assemblage pollinique moderne des 26 sites de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018) y est également présenté pour comparaison. La description de l'assemblage pollinique type des sous-domaines bioclimatiques occidentaux est disponible dans Fréchette *et al.* (2018), et celle des sous-domaines orientaux à l'étude est fournie à l'annexe 7.

Les sites du domaine bioclimatique de la **PL** sur le territoire d'étude sont dominés par le pollen de *Picea* (*P. mariana* et *P. glauca*; 50 %). Le pollen d'*Alnus crispa* (15 %) et de *Betula* (20 %) est aussi abondant. De la PL dans l'ouest du Québec vers celle du Labrador, l'augmentation du pourcentage de *Picea* (*P. mariana*) est concomitante à une diminution du pourcentage d'*A. crispa*. La fréquence du pollen de *Betula* (15–20 %) est comparable dans tous les sites de la PL, alors que celle de *Pinus* (*P. banksiana*) s'avère plus élevée dans la PL de l'ouest du Québec.

Les sites du domaine de la **PM** sur le territoire d'étude sont aussi dominés par le pollen de *Picea* (*P. mariana* et *P. glauca*; 50 %), mais en comparaison à ceux de la PL, le pollen d'*Alnus crispa* (10 %) y est moins abondant alors que celui de *Betula* (25 %) l'est plus. Ces 3 taxons sont légèrement plus représentés dans le sous-domaine de la PM de l'Est que dans celui de la PM de l'Ouest (*Picea* = 45 %, *Betula* = 20 %, *A. crispa* = < 5 %). La fréquence du pollen d'*Abies balsamea* (4–5 %) est comparable à travers les sites de la PM, et celle de *Pinus* (*P. banksiana*) est plus élevée dans la PM de l'Ouest.

Les sites du domaine de la **SBb** sur le territoire d'étude sont riches en *Betula* (45 %), en *Picea* (*P. mariana* et *P. glauca*; 25 %), en *Pinus* (*P. banksiana* et *P. strobus*; 10 %) et en *Abies balsamea* (10 %). Par rapport aux sites du sous-domaine de la SBb de l'Ouest, ceux de la SBb de l'Est, au climat plus humide (PANN : 1 200 mm; tableau 2), sont plus riches en *Betula* (45 % vs 35 % dans l'ouest) et en *A. balsamea* (10 % vs < 5 % dans l'ouest). Par contraste, ceux de la SBb de l'Ouest (Fréchette *et al.* 2018), au climat plus sec (PANN : 1 000 mm), sont riches en *Pinus* (20 % vs 10 % dans l'est). Le pollen de *Populus*, de *Quercus* et des Cupressaceae est légèrement plus abondant dans la SBb de l'Ouest (1,5 %) que dans celle de l'Est (0,5 %). Le fort pourcentage de *Picea* (25 %) observé dans la SBb de l'Est, en comparaison à celui dans la SBb de l'Ouest (15 %), s'explique par l'altitude

plus élevée des sites. À ces endroits, la végétation est parfois identifiée comme une SBb montagnarde ou une sapinière à épinette noire (SEn) (Berger et Blouin 2006, Blouin et Berger 2004).

Dans l'ensemble, les sites du domaine de la SBj sur le territoire d'étude sont plus riches en *Betula* et plus pauvres en *Picea* que ceux du sous-domaine de la SBb de l'Est. Le pollen de *Betula* (60 %) domine les assemblages. La fréquence de *Pinus* (*P. strobus*) et d'*Abies balsamea* (5–10 %) se compare à celle des sites dans la SBb de l'Est. Comme pour la SBb, l'assemblage pollinique de la SBj de l'Est se distingue de celui de la SBj de l'Ouest par une fréquence plus élevée de *Betula* (60 % dans l'est, 35 % dans l'ouest) et une fréquence de *Pinus* (*P. strobus*) plus faible (10 % dans l'est, 30 % dans l'ouest). Contrairement à la SBb, le pourcentage de *Betula* et de *Pinus* (*P. strobus*) permet de mieux distinguer les deux sous-domaines de la SBj. Parmi les 35 sites de la présente étude, c'est dans la SBj que le pourcentage de *Picea* est le plus faible (10 %) et que ceux des Cupressaceae, de *Fagus* et d'*Acer* sont les plus élevés (env. 2 %).

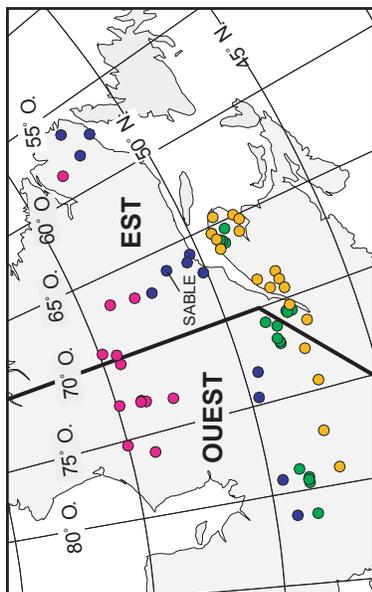
#### 3.2.1.1. Comparaison des domaines de la toundra forestière et de la pessière à lichens

Ce qui distingue le mieux les domaines de la toundra forestière (TF) et de la PL dans l'est du Québec est l'abondance du pollen de *Picea* (*mariana*) en comparaison à celle des arbustes (*Alnus crispa* et *Betula* [*Betula glandulosa*]). Dans la TF, le pollen d'*Alnus crispa* et de *Betula* domine les assemblages, alors que dans la PL, c'est plutôt celui de *Picea* (*P. mariana*). Dans la TF, le pourcentage de *Picea* (*P. mariana*) est inférieur à 15–20 % tandis que dans la PL, il est supérieur à 40 %.

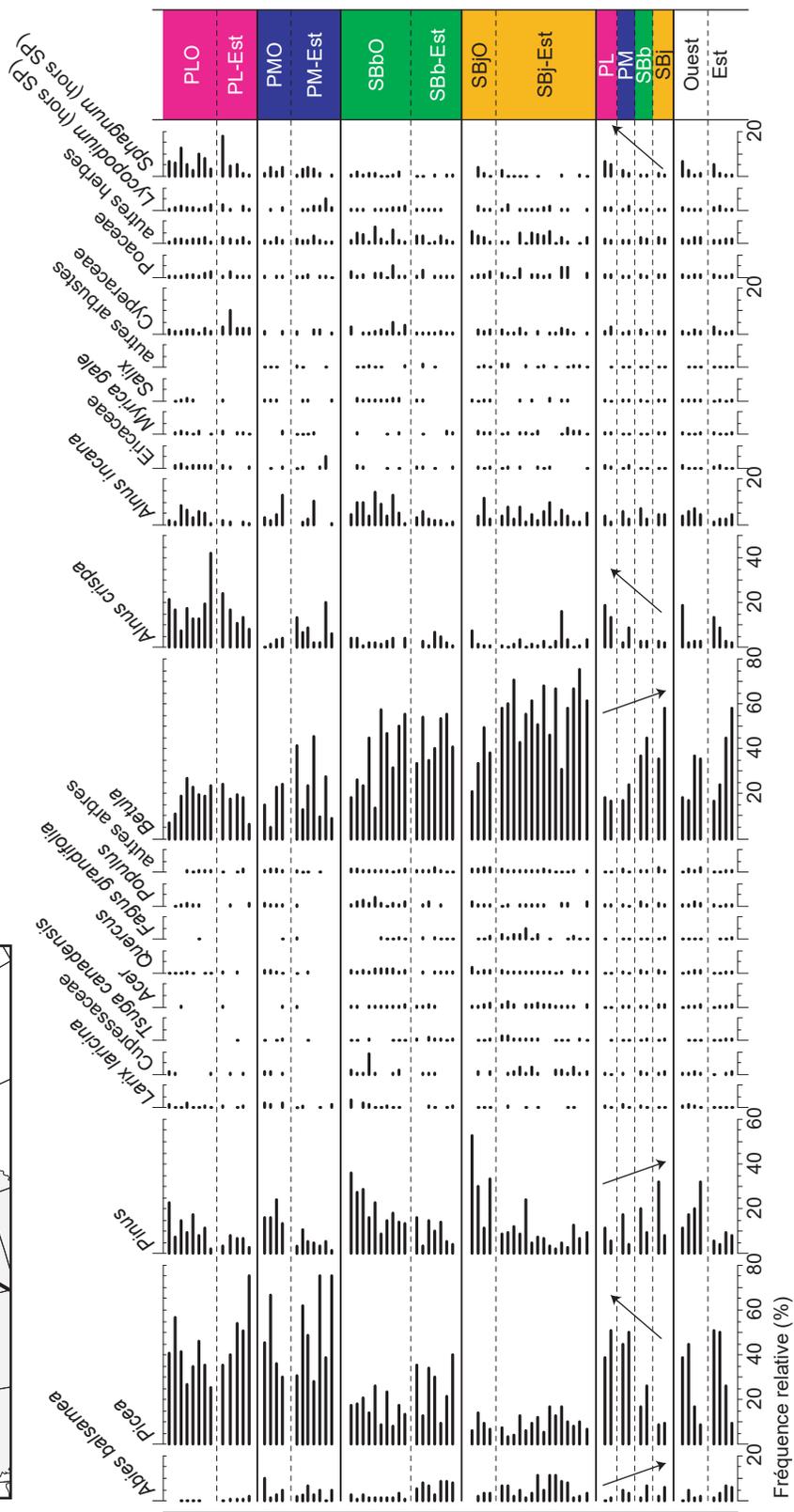
#### 3.2.1.2. Comparaison des domaines de la pessière à lichens et de la pessière à mousses

Le pollen de *Picea* (*P. mariana*) domine l'assemblage actuel des sites de la PL et de la PM du Québec (40–50 %), mais celui d'*Alnus crispa* est plus abondant dans les sites de la PL (env. 15–20 %), que dans ceux de la PM ( $\leq 10$  %).

**Figure 6. (à la page 31)** Diagramme de l'assemblage pollinique de l'échantillon sommital des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional, et comparaison avec celui des 26 sites de l'ouest du Québec. Les assemblages de surface des sites de l'ouest du Québec sont tirés de Fréchette *et al.* (2018). Pour quelques-uns, l'assemblage pollinique illustré ne provient pas exactement de la surface (0 cm). Le site SABLE de l'est du Québec est exclu, car son échantillon sommital est à 173 cm de profondeur. Dans le diagramme, les échantillons sont ordonnés par domaine bioclimatique. Les lignes horizontales en trait plein délimitent les domaines bioclimatiques, et les lignes pointillées séparent les sous-domaines de l'ouest et de l'est du Québec. À l'intérieur d'un même sous-domaine, les sites sont ordonnés en ordre décroissant de longitude Ouest. Les assemblages moyens des domaines bioclimatiques du Québec sont illustrés à la base du diagramme. Ils apparaissent d'abord par domaine (PL, PM, SBb et SBj), puis par sous-domaine (PLO, PMO, SBbO et SBjO pour l'Ouest, et PM-Est, SBb-Est, SBj-Est pour l'Est). L'emplacement des groupes de sites est illustré sur une carte. →



- Sites de la pessière à lichens (PL) (n = 13)
- PLO (n = 8) : *Picea* – *Alnus crispa* – *Betula* – (*Pinus banksiana*)
- PL-Est (n = 5) : *Picea* – *Betula* – *Alnus crispa*
- Sites de la pessière à mousses (PM) (n = 12)
- PMO (n = 4) : *Picea* – *Betula* – *Pinus banksiana*
- PM-Est (n = 8) : *Picea* – *Betula* – (*Alnus crispa*)
- Sites de la sapinière à bouleau blanc (SBb) (n = 17)
- SBbO (n = 10) : *Betula* – *Picea* – *Pinus banksiana* – (*Populus*)
- SBb-Est (n = 7) : *Betula* – *Picea* – *Pinus* spp. – *Abies balsamea*
- Sites de la sapinière à bouleau jaune (SBj) (n = 19)
- SBjO (n = 4) : *Betula* – *Pinus* spp. – (*Quercus* – *Acer*)
- SBj-Est (n = 15) : *Betula* – *Pinus* spp. – (*Abies* – *Fagus* – *Cupressaceae*)



Le contraste pollinique entre les deux types de végétation est cependant plus subtil dans l'est que dans l'ouest du Québec. Les forts pourcentages du pollen d'*A. crispa* dans les assemblages de la PL traduisent essentiellement une ouverture plus ou moins grande du couvert forestier, et non une présence riveraine plus ou moins dense et étendue de l'espèce (Richard *et al.* 1992).

### 3.2.1.3. Comparaison des domaines de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc

Le pollen d'*Alnus crispa* dans les assemblages modernes de la PM est légèrement plus abondant que dans les sites de la SBb, notamment dans l'est du Québec. Dans les deux cas, le pourcentage n'excède généralement pas 10 %. Ce qui distingue la PM de la SBb, c'est l'abondance du pollen de *Picea* (*P. mariana*) en comparaison à celle du pollen de *Betula*. Dans la PM, le pourcentage de *Picea* excède celui de *Betula* (*Betula* < 30–40 %), mais c'est l'inverse dans le cas de la SBb (*Picea* < 30–40 %). En général, le pollen d'*Abies balsamea* est plus abondant dans les assemblages de la SBb (> 5 %) que dans ceux de la PM (< 5 %). Ceci est tout particulièrement vrai dans l'est du Québec. Dans l'ouest du Québec, ce sont les grains de *Pinus* qui s'avèrent généralement plus abondants dans la SBb que dans la PM. Lorsque la représentation pollinique d'*A. balsamea* est bien marquée (> 5 %), la SBb se distingue facilement de la PM à partir des assemblages polliniques. Autrement, l'assemblage pollinique des deux domaines bioclimatiques est très semblable, de sorte qu'il est préférable de grouper les deux végétations (PM/SBb) (Fréchette *et al.* 2018). La signature pollinique d'*A. balsamea* n'est pas simple. Dans la PM, son abondance est très variable d'un endroit à l'autre, même pour des sites proches, du fait que les sapinières sont souvent petites et situées sur des versants et sommets de collines, qui sont soumis à un régime de feux distinct de celui qui prévaut sur les bas de pente et les terrains plats (Couillard *et al.* 2016).

### 3.2.1.4. Comparaison des domaines de la SBb et de la SBj

Le pollen de *Betula* domine l'assemblage actuel des sites de la SBb et de la SBj du Québec (> 40 %). Son pourcentage est légèrement plus élevé dans la SBj. Le pollen d'*Abies balsamea* est plus abondant dans les sites des sous-domaines de l'Est (> 5 %), alors que celui de *Pinus* (*P. strobus*) l'est dans ceux de l'Ouest (> 15 %). Toutefois, le pourcentage de *Betula*, de *Pinus* (*P. strobus*) et d'*A. balsamea* dans un assemblage ne permet pas de distinguer clairement les deux domaines. Celui d'*A. balsamea* est grandement biaisé par le pourcentage de *Pinus*

(*P. strobus*) et de *Betula*. En effet, contrairement au sapin, le bouleau et le pin blanc émettent énormément de pollen dans l'air au moment de leur floraison. Ces deux espèces sont surreprésentées par leur pollen dans un assemblage pollinique (Davis 1963, Richard 1978, Ritchie 1987). En conséquence, l'abondance en pourcentage du pollen de *Betula* et de *Pinus* (*P. strobus*) ne correspond généralement pas à celle de ces espèces dans la végétation. La représentation pollinique des arbres qui émettent peu de pollen, comme le sapin et l'érable, est donc en partie masquée par la surabondance du pollen de bouleau et de pin blanc.

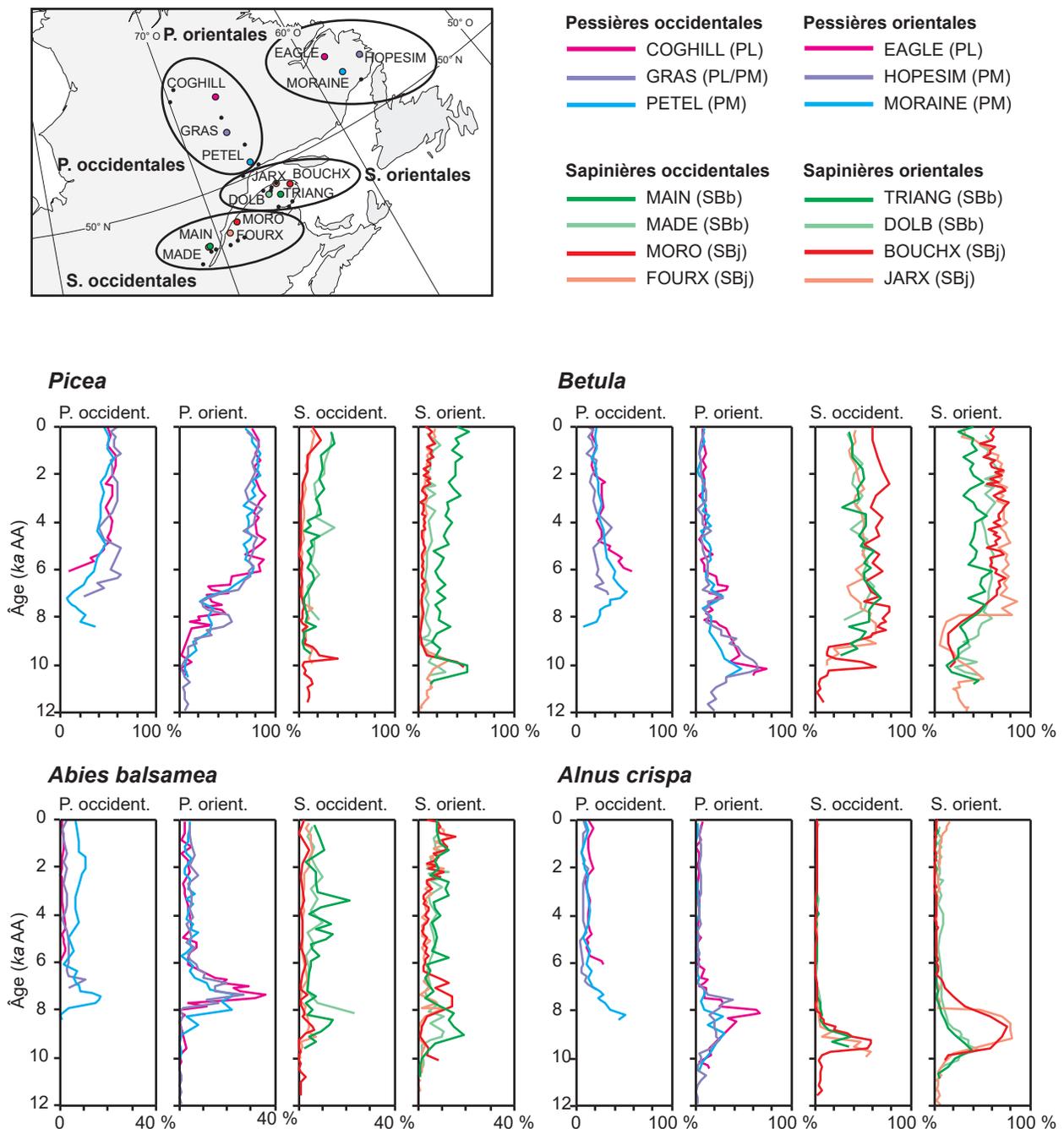
Ce qui semble distinguer le mieux la SBb de la SBj, c'est l'abondance du pollen de *Picea* (*P. mariana*). Dans la SBb, le pourcentage de *Picea* est d'environ 15–20 %, alors qu'il n'excède généralement pas 10 % dans la SBj. Les taxons accompagnateurs comme *Fagus grandifolia*, *Tsuga canadensis*, *Acer* et *Quercus* sont habituellement plus abondants dans les assemblages de la SBj que dans ceux de la SBb.

### 3.2.2 Courbe pollinique des taxons indicateurs

La description des palynostratigraphies et la reconstitution de la végétation qui seront présentées à la section 3.3.1 reposent sur les assemblages polliniques dans leur ensemble. La comparaison des courbes polliniques des diagrammes dans cette section permet toutefois de souligner le synchronisme ou l'asynchronisme de la dynamique temporelle des taxons polliniques à travers le territoire.

La courbe pollinique postglaciaire des pourcentages de *Picea* (*P. mariana*), de *Betula*, d'*Abies balsamea* de même que d'*Alnus crispa* est livrée à la figure 7 pour 14 sites et discutée à l'échelle des 4 domaines bioclimatiques de l'Est (PL et PM, et SBb et SBj) et par partie (occidentale vs orientale) au sein du territoire étudié. Le contraste de végétation entre les pessières et les sapinières est bien illustré par les courbes polliniques de *Picea* et de *Betula*.

Le pollen de *Picea* (*P. mariana*) domine les sites des pessières et est plus abondant dans les sites de la SBb que dans ceux de la SBj. Son pourcentage est maximal dans les pessières orientales du sud du Labrador (EAGLE, HOPESIM et MORAINÉ). Pour ces 3 sites, un pic d'abondance de *Picea* (30 %) est observé vers 8000 ans AA. Selon Engstrom et Hansen (1985), il s'agit de pollen de *Picea glauca*. Par la suite, le pourcentage de *Picea* diminue puis augmente de nouveau vers 7000 ans AA. À 6000 ans AA, il atteint son maximum (80 %) et demeurera relativement constant jusqu'au sommet



**Figure 7.** Courbe pollinique exprimée en pourcentage des principaux taxons arborés et arbustifs (taxons indicateurs) des pessières (PL, PM) et des sapinières (SBb, SBj) de l'est du Québec et du Labrador méridional depuis la déglaciation. Les résultats sont répartis à l'échelle des 4 régions du territoire ici à l'étude : pessières occidentales (sites COGHILL, GRAS et PETEL [ouest du Labrador et Côte-Nord]), pessières orientales (sites EAGLE, MORAINE et HOPESIM [sud du Labrador]), sapinières occidentales (sites MADE, MAIN, MORO et FOURX [Charlevoix/Laurentides et Bas-Saint-Laurent/Témiscouata]) et sapinières orientales (sites TRIANG, DOLB, BOUCHX et JARX [Gaspésie]). Les résultats sont présentés en fonction de l'âge des sédiments. L'emplacement des 14 sites retenus est illustré sur une carte.

des séquences sédimentaires. Le pollen de *Picea* observé dans le sédiment après 6000 ans AA serait celui de *P. mariana* (Engstrom et Hansen 1985). Dans les pessières occidentales de l'ouest du Labrador et de la Côte-Nord (sites COGHILL, GRAS, PETEL),

à partir d'environ 6000 ans AA, le pollen de *Picea* (*P. mariana*) augmente plus graduellement, notamment au site PETEL, jusqu'à un maximum d'environ 55 % au sommet des séquences. Dans les sapinières, un pic de *Picea* (*P. mariana*; > 20 %) est

présent à la base de séquence, vers 10 000 ans AA. Pour les sites de la SBb des parties occidentale et orientale (MAIN, MADE, TRIANG, DOLB), la proportion de pollen de *Picea* augmente continuellement depuis environ 8 000 ans AA. Une telle augmentation est manifeste dans les sites de la SBJ des 2 parties (MORO, FOURX, BOUCHX, JARX), mais beaucoup plus tardivement, vers 3 000 ans AA. Dans la SBb de la partie occidentale (massif des Laurentides) et de la partie orientale (plateau de la Gaspésie), à haute altitude (> 500 m en moyenne), le pourcentage de *Picea* en surface est d'environ 30–40 %. Dans la SBJ de la partie occidentale (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata) et de la partie orientale (haute Gaspésie), à basse altitude (< 150 m en moyenne), l'abondance de *Picea* en surface n'excède pas 15 %. Dans la base de données modernes, des fréquences élevées de *Picea* (> 40 %) sont observées dans la forêt boréale (Fréchette *et al.* 2018). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires des pessières et des sapinières, le pourcentage de *Picea* varie souvent en fonction de la proportion du pollen de *Betula* dans l'assemblage pollinique. Le pic d'abondance du pollen de *Picea* observé à la base des diagrammes des sites des sapinières, vers 10 000 ans AA, reflète l'immigration de l'espèce, et indique une arrivée précoce de l'épinette noire ou de l'épinette blanche, selon le cas, sur le territoire récemment déglacé.

Le pollen de *Betula* domine les sites des sapinières, et son pourcentage est maximal dans la SBJ. Dans les pessières occidentales (ouest du Labrador et Côte-Nord), l'abondance du pollen de *Betula* atteint un maximum vers 7 000 ans AA (40–45 %) puis diminue continuellement jusqu'au sommet des séquences (20 %). Aux autres sites des pessières et sapinières, déglacés plus tôt, un pic (40–50 %) est apparent à la base des séquences, vers 10 000 ans AA. Dans les pessières orientales (sud du Labrador), l'abondance du pollen de *Betula* diminue graduellement depuis lors, alors que dans les sapinières, elle chute vers 9 500 ans AA puis augmente de nouveau vers 9 000 ans AA. L'augmentation est graduelle dans les sites de la SBb, alors qu'elle s'avère plus abrupte dans la SBJ. Pour les sites de la SBJ de la partie orientale (Gaspésie : BOUCHX et JARX), la proportion de *Betula* augmente cependant plus tardivement, vers 8 000 ans AA. Pour tous les sites des sapinières, le pourcentage de *Betula* est maximal aux environs de 8 000 ans AA. Il diminue ensuite progressivement jusqu'au sommet des séquences dans la SBb, alors qu'il demeure relativement constant dans la SBJ. Les espèces de *Betula* sont fortement surreprésentées par leur pollen (Richard 1968, 1977, 1978, Ritchie 1987). Elles se distinguent difficilement par leur morphologie

pollinique, mais le diamètre des grains permet de différencier les espèces arborescentes de celles arbustives (Richard 1970). Aux sites des sapinières de l'est du Québec, les grains de *Betula* observés dans le sédiment à la base des séquences (vers 10 000 ans AA) sont petits (< 21 µm) et associés à des bouleaux arbustifs comme le bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*), alors que ceux observés dans le sédiment sus-jacent sont plus grands (> 21 µm) et proviennent d'espèces arborescentes comme le bouleau blanc (*Betula papyrifera*) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) (Asnong et Richard 2003, Marcoux et Richard 1995).

Le pollen d'*Abies balsamea* est relativement bien représenté dans les sites des pessières et sapinières du territoire d'étude. Dans les sapinières, sa proportion dans les assemblages postglaciaires est plus élevée dans la SBb que dans la SBJ, alors que dans les pessières, en particulier celles du sud du Labrador, le pourcentage d'*Abies* est maximal (> 20 %) dans le sédiment pré-6 000 ans AA. Au site PETEL (Côte-Nord), dans la partie occidentale, une augmentation caractérise les sédiments post-4 000 ans AA. Dans les sapinières, le pourcentage d'*Abies* atteint un maximum (> 10 %) à la base des séquences et de nouveau vers le sommet. Pour les sites de la SBb des parties orientale et occidentale, la proportion d'*Abies* est maximale dans les assemblages pré-8 000 ans AA et post-6 000 ans AA. Pour les sites de la SBJ de la partie occidentale (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata; MORO, FOURX), le pourcentage n'excède pas 7 %, et les valeurs maximales sont présentes dans le sédiment pré-8 000 ans AA et post-2 000 ans AA. Pour les sites de la SBJ de la partie orientale (Gaspésie; BOUCHX, JARX), le pourcentage d'*Abies* atteint un maximum dans le sédiment pré-6 000 ans AA, comme pour ceux de la PM du sud du Labrador (EAGLE, HOPESIM, MORAINÉ) et de la Côte-Nord (PETEL), et de nouveau vers le sommet. Dans la base de données modernes, des fréquences d'*Abies* > 10 % sont observées dans la forêt mixte tempérée du Canada, à l'est de la longitude 75° O. (Fréchette *et al.* 2018). Le sapin est une espèce fortement sous-représentée par son pollen (Richard 1968, 1993). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, des pourcentages continus d'*Abies*, même faibles, traduisent une présence régionale soutenue. Pour les sites de la forêt mixte tempérée, la courbe d'*Abies* est souvent anticorrélative de celle de *Pinus strobus* (Richard 1977).

Le pollen d'*Alnus crispa* est tout particulièrement abondant (> 20 %) dans les assemblages postglaciaires des sites de la PL du centre-nord du Québec (PLCN : DAU, DEL1; annexe 3). Dans

les pessières et sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional, son pourcentage est maximal (> 20 %) à la base des séquences (10000–8000 ans AA). L'augmentation vers 10000 ans AA est graduelle dans les pessières orientales (sud du Labrador) et dans la SBb du plateau de la Gaspésie, mais plus abrupte aux autres sites. Dans les sapinières occidentales (Charlevoix/Laurentides et Bas-Saint-Laurent/Témiscouata; MAIN, MADE, MORO, FOURX), et dans la SBb des sapinières orientales (plateau de la Gaspésie; TRIANG, DOLB), le pourcentage d'*A. crispa* est maximal (40 %) à environ 9500 ans AA, et négligeable (< 5 %) environ 1000 ans plus tard. Pour ces sites, le sédiment riche en *A. crispa* couvre une période d'environ 1500 à 2000 ans. Dans les pessières du sud du Labrador (EAGLE, HOPESIM, MORAIN) et de la Côte-Nord (PETEL), tout comme dans la SBj en haute Gaspésie (BOUCHX, JARX), l'abondance atteint son maximum plus tardivement (8500 ans AA), puis descend à un niveau négligeable dans le sédiment post-7000 ans AA. Pour ces sites, le sédiment riche en *A. crispa* s'étend sur une plus longue période, soit sur environ 2500 à 3000 ans. Au site JARX, une légère augmentation est décelée au sommet de la séquence. Dans la base de données modernes, des fréquences > 20 % sont observées dans la taïga et la toundra forestière de l'est du Canada (Fréchette et al. 2018). L'aulne crispé est une espèce fortement surreprésentée par son pollen (Ritchie 1987). Dans les diagrammes, un pourcentage élevé d'*A. crispa* dans les sédiments basaux est généralement associé à une phase d'afforestation et témoigne du développement des populations d'aulnes à la suite du retrait des glaces (Richard 1977, Ritchie 1987).

Le pollen de *Pinus* est peu abondant dans les assemblages des sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional, notamment dans ceux des pessières (annexe 3). Pour tous les sites postglaciaires, deux espèces de pins ont été distinguées : *Pinus banksiana* et *Pinus strobus*. Le pin gris et le pin blanc sont des arbres peu abondants de nos jours dans les forêts du territoire d'étude. La rareté actuelle du pin blanc dans le sud du Québec est cependant en grande partie due à sa surexploitation pour la construction navale au 19<sup>e</sup> siècle, puis pour le bois d'œuvre au 20<sup>e</sup> siècle (Brisson et Bouchard 2003). Dans presque tous les diagrammes des sites des sapinières, la fréquence du pollen de *Pinus strobus* dans les assemblages augmente abruptement vers 7500 ans AA. Par la suite, elle diminue graduellement jusqu'au sommet des séquences. Dans le sédiment post-3000 ans AA, le pourcentage de *P. strobus* n'excède pas 15 %. C'est très faible si nous considérons sa surreprésentation

pollinique (Richard 1977, Ritchie 1987). À l'exception des sédiments antérieurs à 10000 ans AA, le pourcentage de pollen de *Pinus banksiana* n'excède jamais 10 % dans les assemblages. Pour quelques sites de la PM (COGHILL, GRAS) et de la SBj (MORO, FOURX, BOUCHX), une très légère augmentation est décelable après environ 3000 ans.

En conclusion :

- 1- Au sein d'une même région, les courbes polliniques des taxons indicateurs sont synchrones, avec des pourcentages comparables dans les assemblages polliniques des divers sites. La dynamique spatiotemporelle de la végétation régionale est donc assez bien homogène.
- 2- Pour les pessières, les courbes polliniques de *Picea*, de *Betula*, d'*Abies balsamea* et d'*Alnus crispa* des sites diffèrent entre les parties occidentale (ouest du Labrador et Côte-Nord) et orientale (sud du Labrador). Dans chacune d'elles, les courbes des sites de la PL (en rose sur la figure 7) se comparent à celles des sites de la PM (en bleu et en violet sur la même figure). L'abondance du pollen d'*Alnus crispa* dans les sédiments postglaciaires des sites de la PL du Labrador est faible en comparaison à celle des sites de la PL de l'ouest du Québec (identifiés LG409 et LG412 dans Fréchette et al. 2018). Dans ce territoire, le pourcentage de pollen d'*Alnus crispa* en surface est d'environ 20 %, alors qu'il n'excède pas 15 % dans la PL du Labrador. Dans l'ouest du Québec, la représentation pollinique de la PL est différente de celle de la PM. Puisque les sites de la PL se distinguent généralement de ceux de la PM par une plus grande abondance de pollen d'*Alnus crispa*, il est possible que le faible pourcentage pour cette espèce dans les assemblages des sites des pessières de l'est du Québec restreigne la distinction pollinique des deux végétations dans cette portion du territoire.
- 3- Pour les sapinières, les courbes polliniques des sites de la SBb de la partie occidentale de la région d'étude (Charlevoix/Laurentides) ressemblent à celles de la partie orientale (plateau de la Gaspésie). De la même façon, les courbes polliniques des sites de la SBj de la partie occidentale (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata) se rapprochent de celles de la partie orientale (haute Gaspésie). Contrairement à ce qu'on observe dans les pessières, la représentation pollinique pour le sous-domaine de la SBb de l'Est (en vert sur

la figure 7; alt. moyenne > 500 m) diffère de celle de la SBj (en rouge et en orange sur la même figure; alt. moyenne < 150 m).

- 4- Dans les sapinières, il y a un décalage d'environ 1000 ans entre les courbes polliniques d'*Alnus crispa* et d'*Abies balsamea* des sites BOUCHX et JARX (haute Gaspésie) et celles des autres sites. Dans la SBj de la haute Gaspésie, le pourcentage maximal d'*Alnus crispa* survient vers 8500 ans AA et celui d'*Abies balsamea*, vers 7500 ans AA. Dans la SBb de Charlevoix/Laurentides (MAIN, MADE) et du plateau de la Gaspésie (TRIANG, DOLB), de même que dans la SBj du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (MORO, FOURX), le pourcentage maximal d'*Alnus crispa* est observé vers 9500 ans AA, et celui d'*Abies balsamea*, vers 8500 ans AA. Les courbes d'*Alnus crispa* et d'*Abies balsamea* des sites de la SBj de la haute Gaspésie (BOUCHX, JARX) sont synchrones à celles des sites des pessières de la Côte-Nord (PETEL) et du sud du Labrador (EAGLE, HOPESIM, MORAINÉ). Dans les pessières, le pollen d'*Alnus crispa* est abondant dans les sédiments jusque vers 7000 ans AA, et celui d'*Abies balsamea*, 8000–6000 ans AA.
- 5- La comparaison des courbes d'*Alnus crispa* aux différents sites indique que l'afforestation de la région de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent a été plus lente qu'en amont et à l'intérieur des terres. En principe, l'influence du climat devrait se traduire par un changement de végétation relativement simultané dans l'ensemble des sites du territoire, ou d'une portion de celui-ci. Ici, à l'instar d'Anderson *et al.* (2007), nous suggérons l'influence des conditions hydroclimatiques de surface dans le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent, lesquelles ont été affectées par les apports

des eaux de fonte glaciaire. Nous étayerons cette hypothèse aux sections 4.2.3 et 4.3.2 à l'aide de nos reconstitutions climatiques.

### 3.3 Histoire postglaciaire de la végétation du territoire

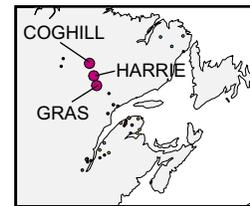
#### 3.3.1 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires des 8 secteurs

Les ZAP des 23 sites ont été comparées et résumées à l'échelle de 8 secteurs (figures 8 et 9, annexe 9). Elles sont décrites au tableau 3. De plus, le supplément 5 (disponible à part) présente une comparaison détaillée de celles-ci à l'échelle des pessières et des sapinières, toutes deux subdivisées en parties occidentale et orientale. La végétation reconstituée à l'époque de chacune des ZAP est livrée à la figure 10, et son histoire postglaciaire est discutée à la section 3.3.2. Dans le texte et au tableau 3, l'âge moyen des ZAP a été arrondi au siècle près. Le résultat de la compilation de la provenance des analogues modernes par ZAP (biomes et groupes *K*-means reconnus par Fréchette *et al.* [2018], annexe 6), point de départ de la reconstitution de la végétation, est fourni au supplément 3 (disponible à part). Lorsque les données sont disponibles, les courbes de la CP et du TAP total sont illustrées à la figure 8. Les valeurs moyennes de la CP et du TAP total par ZAP sont présentées au tableau 3. Pour les sites des 5 secteurs des sapinières, le TAP moyen des sédiments et des principaux taxons, par ZAP, est livré à l'annexe 10.

Les dendrogrammes CONISS (à la droite de tous les diagrammes de la figure 8) mettent bien en lumière les 3 grandes phases de l'histoire de la végétation. Pour presque tous les sites, les assemblages témoignant de la phase forestière sont clairement isolés de ceux de la phase d'afforestation, qui ressemblent plus aux assemblages basaux associés à la phase non arboréenne.

**Figure 8. (à la page 37 et suivantes)** Diagramme pollinique sommaire des 23 sites retenus pour résumer la palynostratigraphie postglaciaire du territoire d'étude à l'échelle de 8 secteurs. a) Sites COGHILL, HARRIE et GRAS du secteur de la PLOL; b) sites PETEL, MATAMEK et LD du secteur de la PMCN; c) sites EAGLE, MORAINÉ et HOPESIM du secteur de la PMSL; d) sites MADE, MAIN et MARC du secteur de la SBRN; e) sites MORO, FOURX et BEAZ du secteur de la SJRS; f) sites DOLB, EBR et TRIANG du secteur de la SBCG; g) sites PERDU, JARX et BOUCHX du secteur de la SJNG et h) sites CARIB et ROBIN du secteur de la SJSJG. Les diagrammes polliniques complets sont livrés à l'annexe 3. Les résultats sont présentés en fonction de la profondeur. La concentration pollinique (CP, en grains·cm<sup>-3</sup>) et le taux d'accumulation pollinique total des sédiments (TAP, en grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) sont fournis lorsque disponibles. La courbe du TAP total est en rouge et se superpose à celle de la CP dans les diagrammes. Seuls les principaux taxons arboréens et arbustifs sont présents dans les diagrammes polliniques. Le pollen herbacé a été regroupé. L'emplacement des sites est illustré sur une carte. Les courbes du TAP total des sites du secteur sont comparées, et le résultat est présenté en fonction de l'âge dans un graphique à la droite des diagrammes. Dans ce graphique, la ligne en trait épais est une courbe lissée à travers les points. Pour chaque secteur, la comparaison de la chronologie des ZAP des sites et la reconstitution →

a) Secteur de la pessière à lichens – ouest du Labrador (PLOL) :  
rivière Moisie, Fermont/Schefferville



→ **Figure 8. (suite du titre)**

de la végétation sont données dans les histogrammes au bas de la figure. Les trois phases de l'histoire de la végétation sont indiquées à la droite des histogrammes : phase non arboréenne ou d'immigration des espèces ligneuses (T), phase d'afforestation (A) et phase forestière (F). Les coordonnées géographiques des sites, la superficie des lacs (en ha) et la source des diagrammes (publiée ou inédite) sont données au tableau 1. Voir la figure 9 pour la légende des couleurs des provinces polliniques identifiées dans la colonne « ZAP » et la figure 10 pour la signification des acronymes des végétations reconstituées. Lorsque deux végétations sont jumelées, par exemple TF/PL, le nom de celle ayant prévalu est souligné. Les dendrogrammes (CONISS) illustrés à la droite sont ceux utilisés pour la zonation initiale des diagrammes polliniques complets (voir l'annexe 3). La somme totale des carrés en écart avec la moyenne (TSS) est sans unité. Dans les diagrammes, les courbes polliniques non remplies illustrent une exagération des pourcentages (10×).

b) Secteur de la pessière à mousses – Côte-Nord (PMCN):  
Sept-Îles

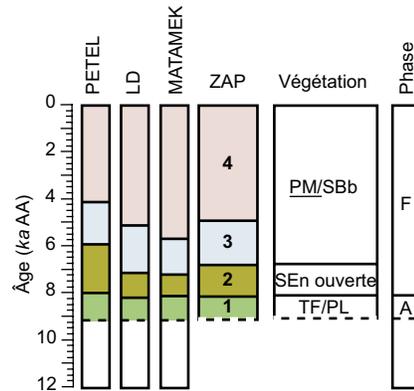
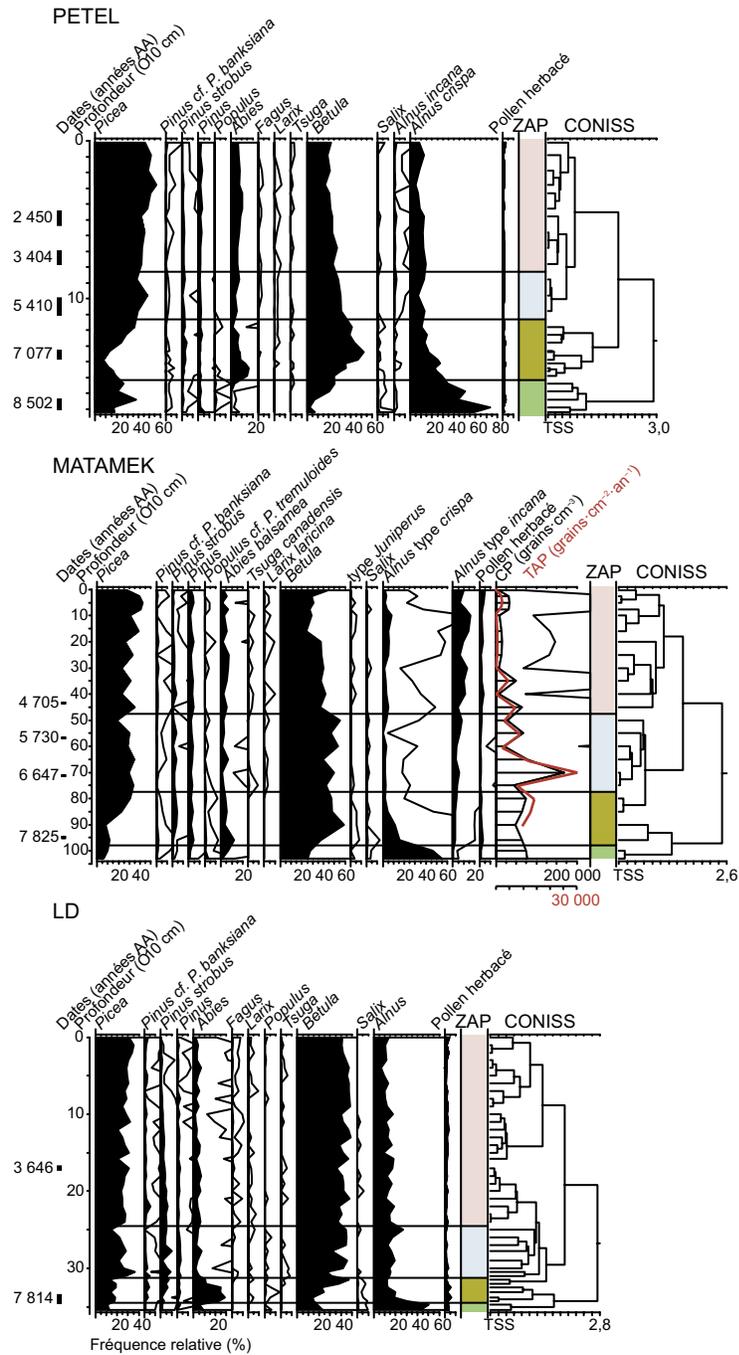
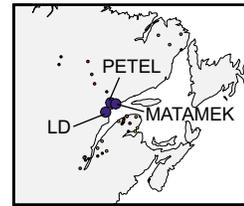


Figure 8. (suite)

c) Secteur de la pessière à mousses – sud du Labrador (PMSL) :  
 détroit de Belle Isle/lac Melville

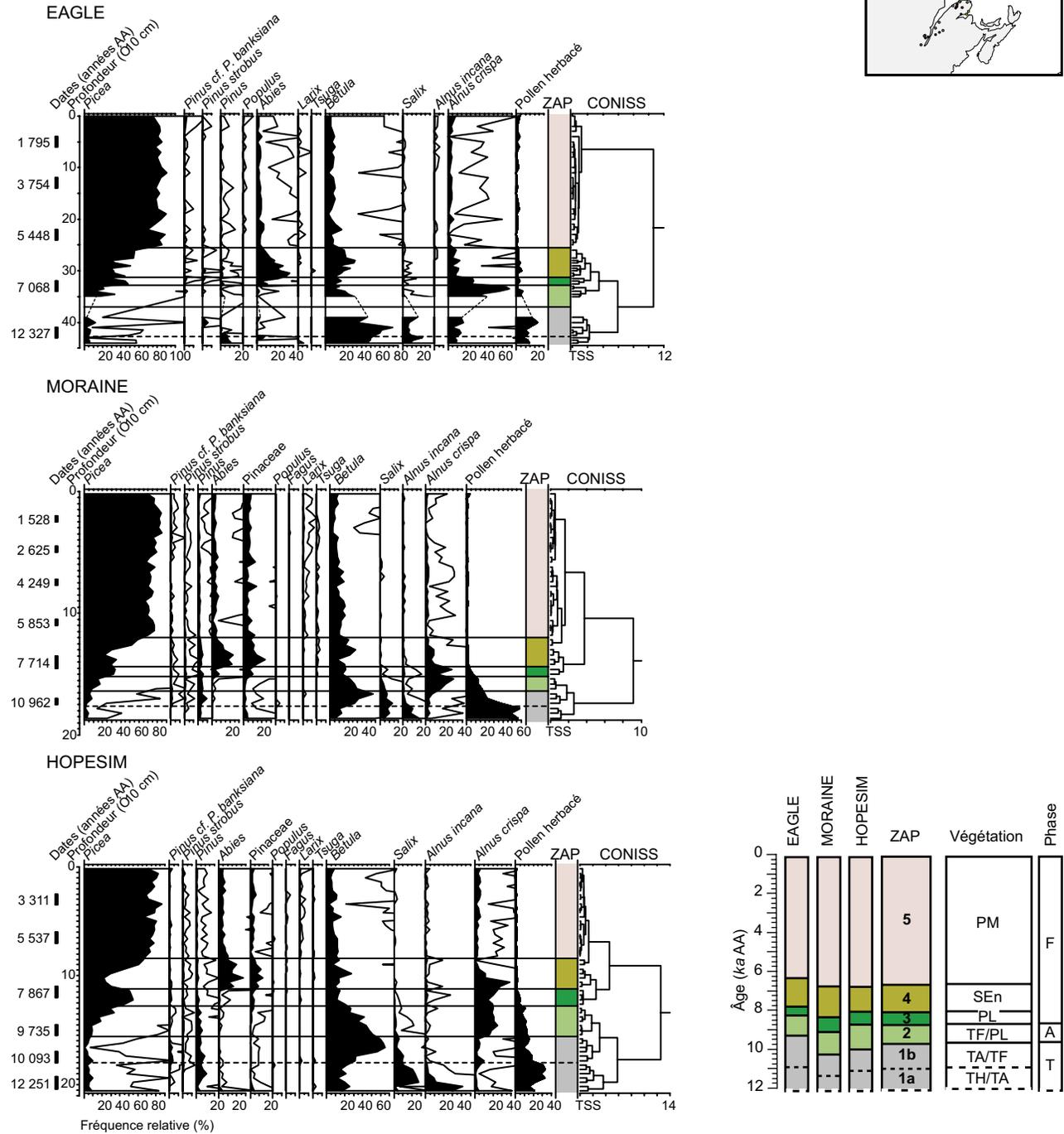
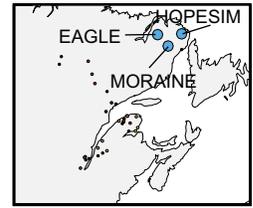


Figure 8. (suite)

d) Secteur de la sapinière à bouleau blanc – rive nord fleuve Saint-Laurent (SBRN):  
Charlevoix/Laurentides

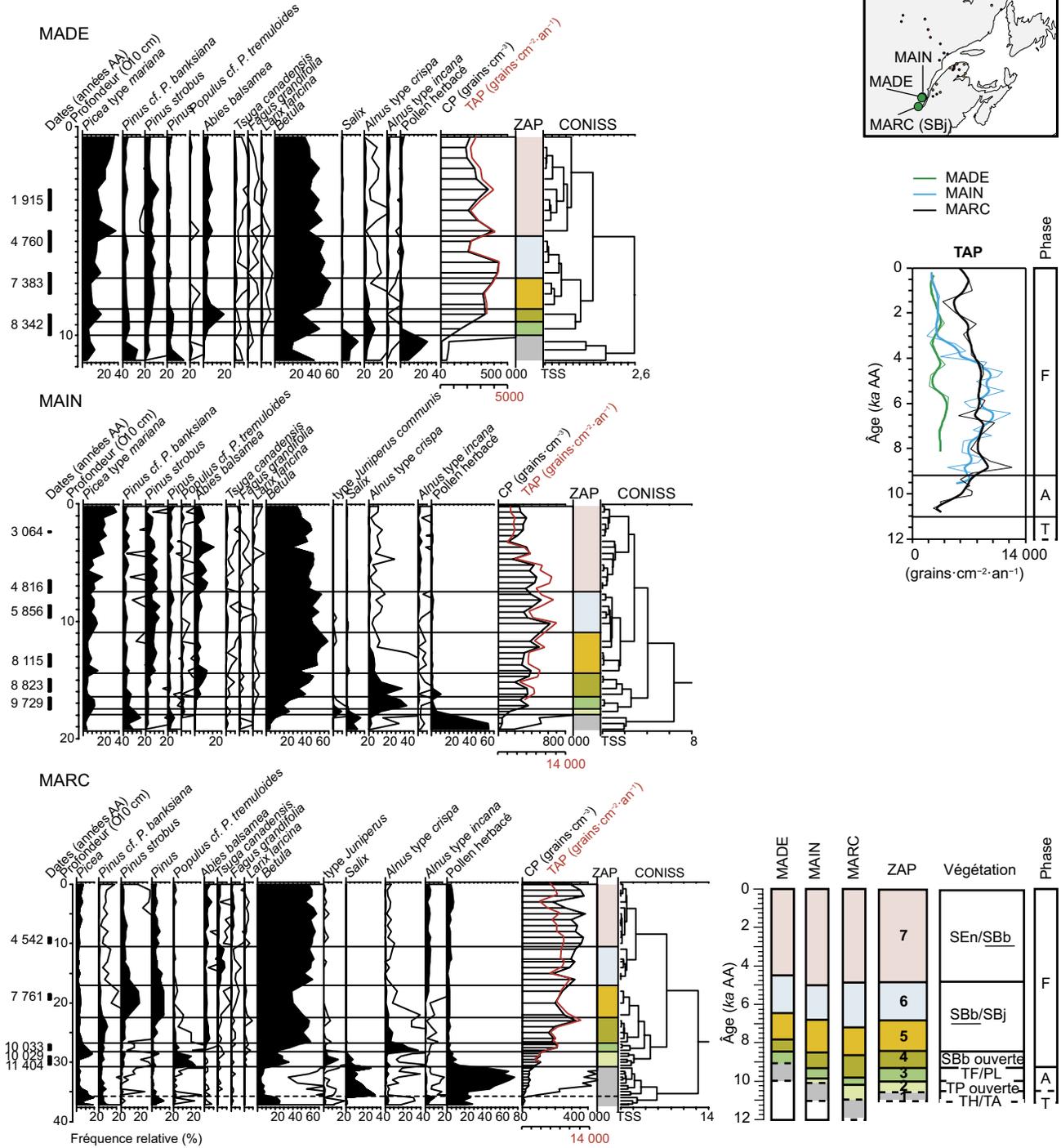


Figure 8. (suite)



f) Secteur de la sapinière à bouleau blanc – centre de la Gaspésie (SBCG) : plateau de la Gaspésie, Murdochville

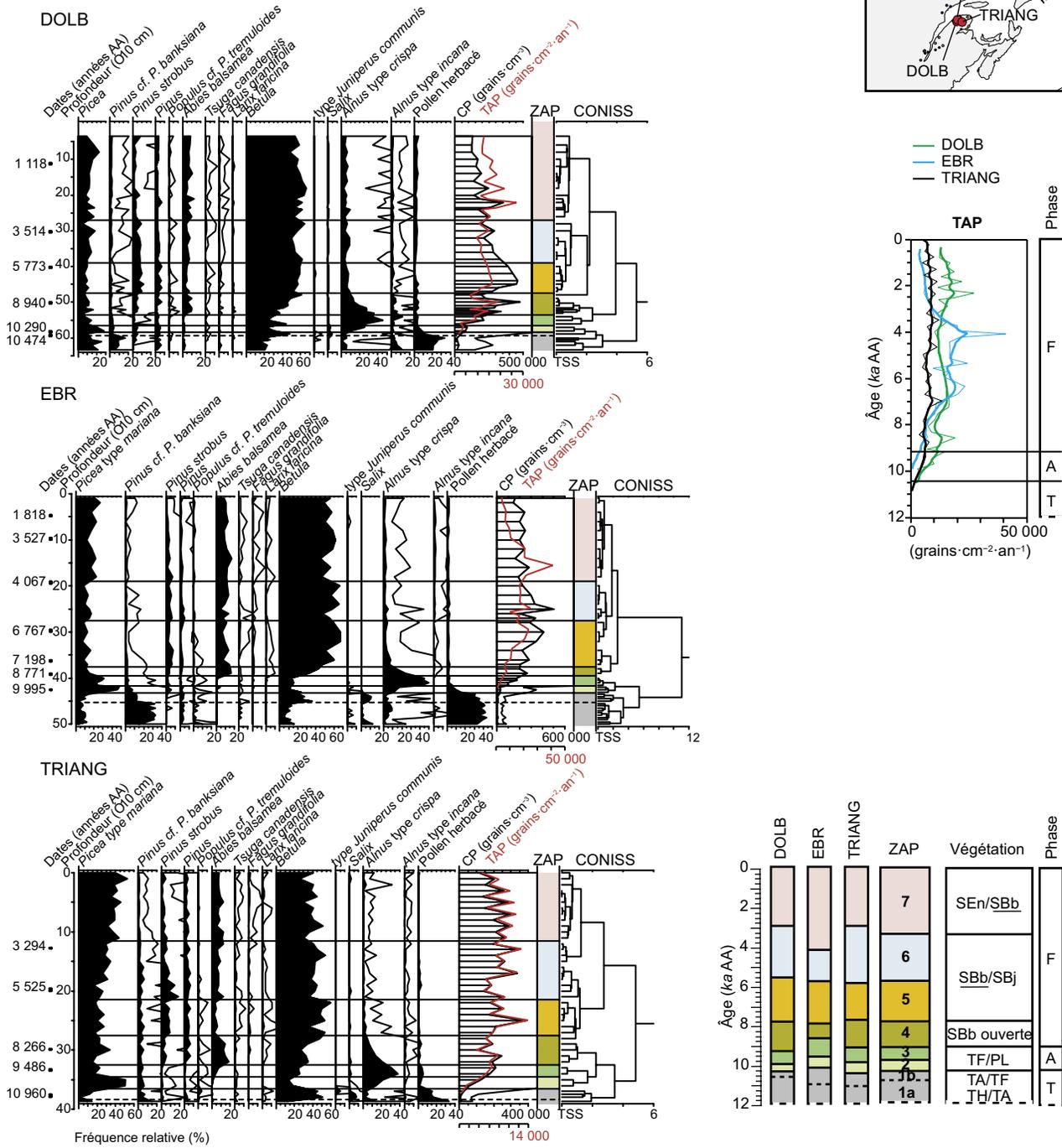
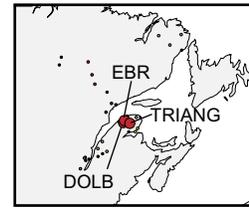


Figure 8. (suite)

g) Secteur de la sapinière à bouleau jaune – côte nord de la Gaspésie (SJNG) : haute Gaspésie, Sainte-Anne-des-Monts/Gaspé

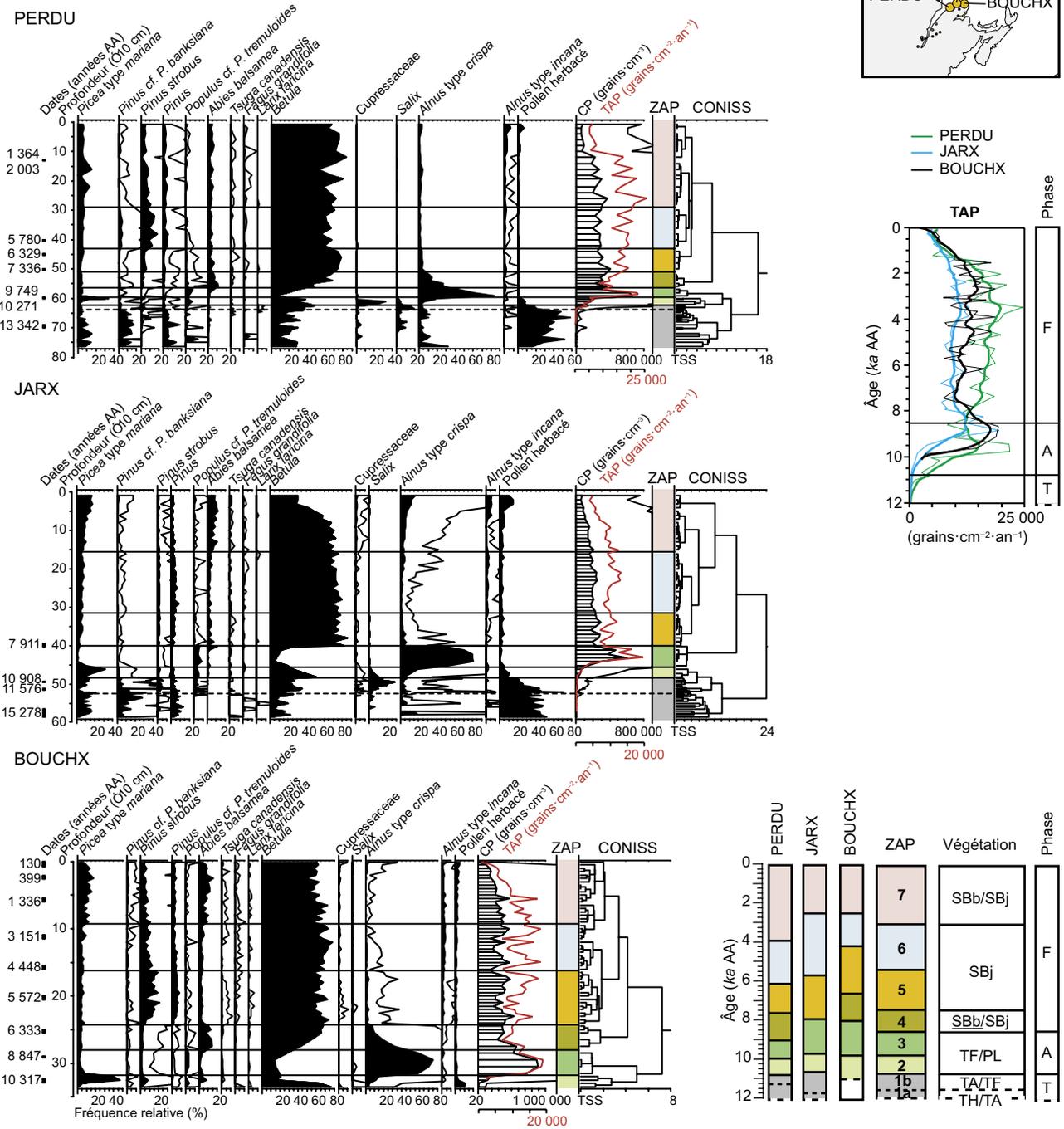
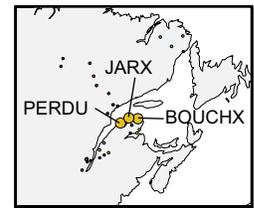


Figure 8. (suite)

h) Secteur de la sapinière à bouleau jaune – côte sud de la Gaspésie (SJSJ) : baie des Chaleurs

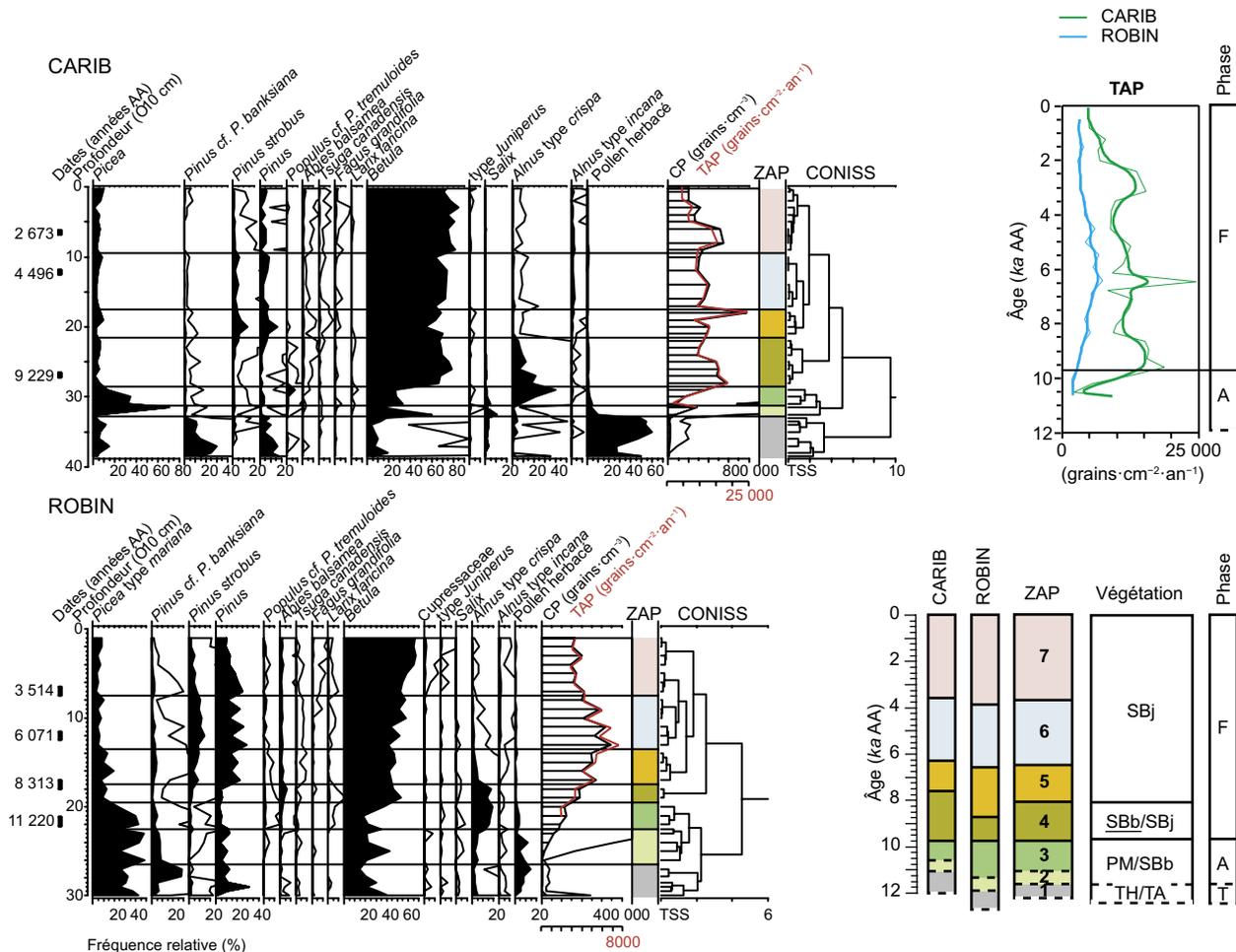
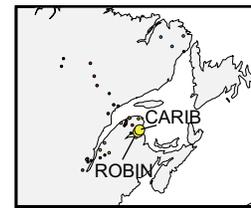
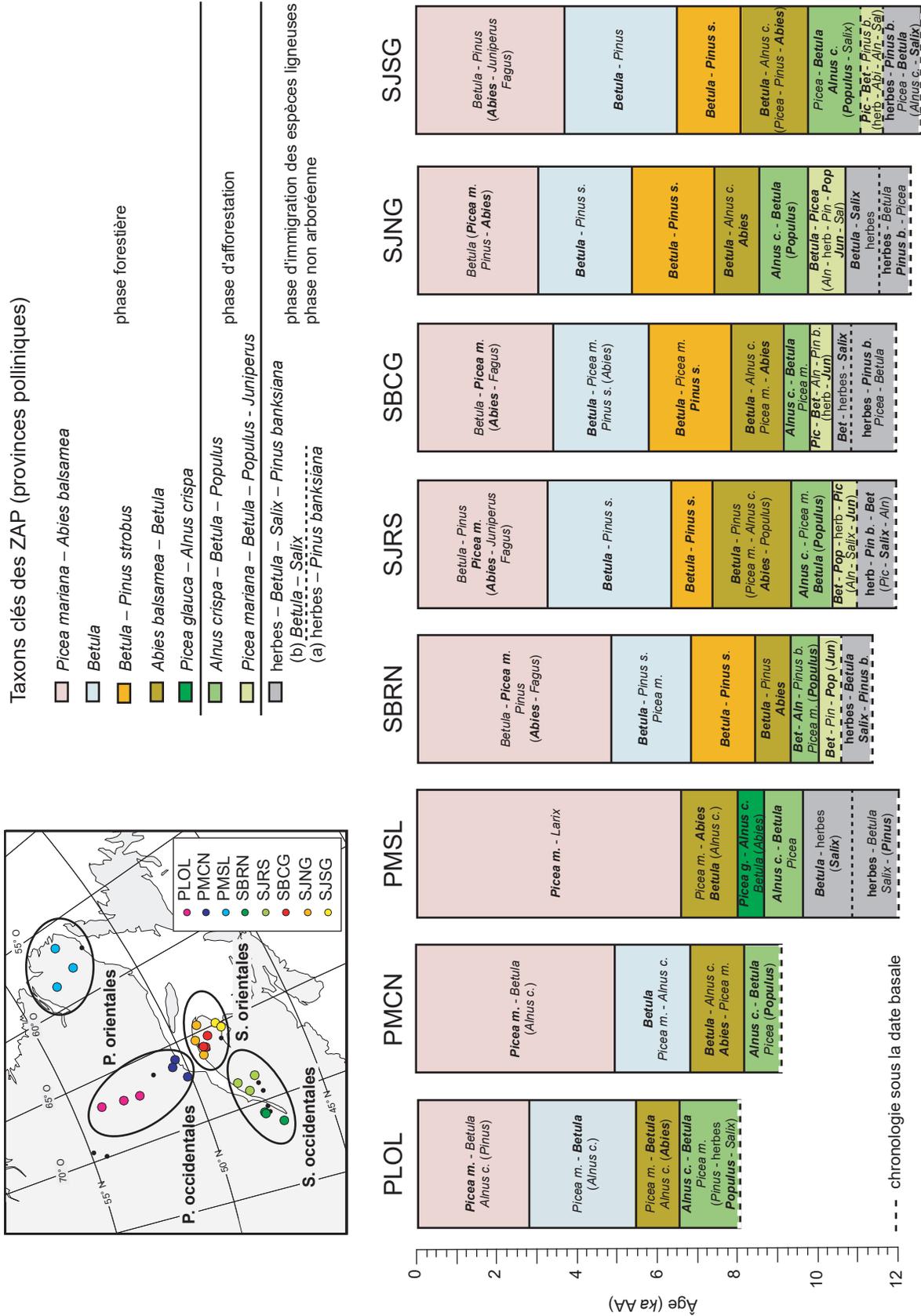


Figure 8. (suite et fin)

**Figure 9. (à la page 45)** Comparaison par secteur des 8 palynostratigraphies synthèses de l'est du Québec et du Labrador méridional en fonction de l'âge. Les sites suivants sont inclus dans les secteurs : PLOL (sites COGHILL, HARRIE et GRAS); PMCN (sites PETEL, MATAMEK et LD); PMSL (sites EAGLE, MORAINÉ et HOPESIM); SBRN (sites MADE, MAIN et MARC); SJRS (sites MORO, FOURX et BEAZ); SBCG (sites EBR, DOLB et TRIANG); SJNG (sites PERDU, JARX et BOUCHX); SJSJ (sites CARIB et ROBIN). Les différentes zones d'assemblage pollinique (ZAP) sont nommées, et les provinces polliniques postglaciaires sont illustrées par des couleurs distinctes. Dans le nom des assemblages, les taxons clés des provinces polliniques sont illustrés en caractères gras. Sur la carte, les sites des 8 secteurs sont identifiés par des couleurs différentes. La chronologie des ZAP en est une moyenne, basée sur celle des ZAP des sites du groupe (voir la figure 8). La chronologie des ZAP basales est approximative. Ces ZAP sont observées dans le sédiment inorganique ou tout au début de la sédimentation organique, et elles ont peu (ou n'ont pas) de contrôle chronologique (dates au radiocarbone). La comparaison de la chronologie des ZAP des 23 sites est illustrée à l'annexe 9, et les diagrammes polliniques sommaires sont donnés à la figure 8. →



**Tableau 3.** Description des zones d'assemblage pollinique (ZAP) des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional : a) pessière à lichens — ouest du Labrador (PLOL), b) pessière à mousses — Côte-Nord (PMCN), c) pessière à mousses — sud du Labrador (PMSL), d) sapinière à bouleau blanc — rive nord du Saint-Laurent (Charlevoix/Laurentides; SBRN), e) sapinière à bouleau jaune — rive sud du Saint-Laurent (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata; SJRS), f) sapinière à bouleau blanc — centre de la Gaspésie (plateau de la Gaspésie; SBCG), g) sapinière à bouleau jaune — côte nord de la Gaspésie (haute Gaspésie; SJNG) et h) sapinière à bouleau jaune — côte sud de la Gaspésie (baie des Chaleurs; SJSG). Les valeurs moyennes de la concentration pollinique (CP) et du taux d'accumulation pollinique (TAP) total sont fournies avec la description. Les couleurs en marge gauche réfèrent aux provinces polliniques mentionnées à la figure 9. Dans le nom des ZAP, les taxons clés associés aux provinces polliniques sont soulignés. La végétation reconstituée est donnée à la droite de la description des ZAP et à la figure 10. La dissimilarité maximale ( $SCD_{max}$ ) moyenne par ZAP, entre les assemblages postglaciaires et ceux actuels, est aussi indiquée. La colonne de droite réfère aux phases de l'histoire de la végétation (T = phase non arboréenne ou d'immigration des espèces; A = phase d'afforestation; F = phase forestière). Pour chaque secteur, la description des ZAP se lit de bas (plus ancienne ZAP) en haut (plus récente ZAP). Lorsque deux végétations sont jumelées, par exemple PL/PM, le nom de celle ayant prévalu est souligné. Les diagrammes polliniques sommaires des 23 sites utilisés pour résumer la palynostratigraphie des 8 secteurs sont présentes à la figure 8, et les diagrammes complets se trouvent à l'annexe 3. Les palynostratigraphies individuelles des 23 sites ayant servi à la construction de celles des 8 secteurs sont illustrées à l'annexe 9, et la comparaison des 8 palynostratigraphies de l'est du Québec et du Labrador méridional est l'objet de la figure 9. Le résultat obtenu de la compilation de la provenance des analogues modernes par ZAP (biomes et groupes *K*-means reconnus par Fréchette *et al.* [2018], à l'annexe 6), point de départ de la reconstitution de la végétation, est livré au supplément 3 (disponible à part).

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	$SCD_{max}$	Phase
a) Secteur de la pessière à lichens — ouest du Labrador (PLOL): sites COGHILL (PL), HARRIE (PL), GRAS (PM)					
PLOL-4	2600–0	<b><i>Picea mariana</i> — <i>Betula</i> — <i>Alnus crispa</i> (<i>Pinus</i>)</b> Le début de la ZAP est marqué par une légère augmentation de <i>Pinus</i> ( <i>P. banksiana</i> ) concomitante à une diminution de <i>Betula</i> (15–20 %). L'abondance d' <i>Alnus crispa</i> augmente légèrement. Le pourcentage de <i>Picea mariana</i> (env. 60 %) est comparable à la ZAP précédente. La CP diminue progressivement de la base au sommet. Au sommet, elle est d'environ 200 000 grains·cm <sup>-3</sup> (King 1986).	PL	0,06	
PLOL-3	5300–2600	<b><i>Picea mariana</i> — <i>Betula</i> (<i>Alnus crispa</i>)</b> Le début est marqué par l'abondance maximale de <i>Picea mariana</i> (60 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> est de env. 20 % et celui d' <i>Alnus crispa</i> est comparable à la ZAP précédente. La CP est maximale (> 500 000 grains·cm <sup>-3</sup> ; King 1986). Le TAP est > 5 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> aux sites COGHILL et HARRIE et > 10 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au site GRAS, le plus au sud (King 1986).	PM	0,06	F
PLOL-2	6500–5300	<b><i>Picea mariana</i> — <i>Betula</i> — <i>Alnus crispa</i> (<i>Abies balsamea</i>)</b> Le début de la ZAP est marqué par une chute d' <i>Alnus crispa</i> (< 10–15 %) et par une augmentation de <i>Betula</i> , d' <i>Abies balsamea</i> et de <i>Picea mariana</i> . Il y a un pic d'abondance de <i>Betula</i> à la base de la ZAP. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea mariana</i> augmente (30 à 50 %) et celui de <i>Betula</i> diminue (40 à 20 %). La CP augmente légèrement (King 1986).	PM	0,10	
PLOL-1	antérieur à 6500	<b><i>Alnus crispa</i> — <i>Betula</i> — <i>Picea mariana</i> (<i>Pinus</i> — <i>Herbes</i> — <i>Populus</i> — <i>Salix</i>)</b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est maximal (> 25–30 %). Le pollen de <i>Picea mariana</i> est peu abondant (< 20 %), notamment au site le plus au nord (COGHILL : < 10 %). Le pollen de <i>Betula</i> est abondant (20 %). Celui des plantes herbacées, de <i>Pinus</i> , de <i>Populus</i> et de <i>Salix</i> est présent. Quant au pollen de <i>Salix</i> et de <i>Populus</i> , il est plus abondant aux sites les plus au sud (HARRIE et GRAS). La CP est élevée (env. 200 000 grains·cm <sup>-3</sup> ; King 1986).	TA/TF?	0,14	A

Tableau 3. (suite)

b) Secteur de la pessière à mousses — Côte-Nord (PMCN) : sites PETEL (PM), MATAMEK (PM), LD (PM)					
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
PMCN-4	4800–0	<b><i>Picea mariana</i> – <i>Betula</i> (<i>Alnus crispa</i>)</b> Le début est marqué par une diminution du pourcentage de <i>Betula</i> concomitante à une augmentation de celui de <i>Picea mariana</i> . Le pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> et d' <i>Alnus crispa</i> augmente légèrement. Celui de <i>Picea mariana</i> est maximal. La CP diminue et elle est minimale au sommet de la ZAP. Au site MATAMEK, le TAP est minimal (< 2 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ) au sommet de la ZAP.	PM/SBb	0,12	
PMCN-3	6600–4800	<b><i>Betula</i> – <i>Picea mariana</i> – <i>Alnus crispa</i></b> Le pourcentage de <i>Picea mariana</i> (30–40 %) est élevé à la base de cette ZAP et celui d' <i>Abies balsamea</i> (< 5–10 %) est faible. Quant au pourcentage de <i>Betula</i> (30–40 %), il est relativement stable de la base au sommet de la ZAP et légèrement plus élevé que celui de <i>Picea mariana</i> . La CP est maximale. Au site PETEL, elle est env. 400 000 grains·cm <sup>-3</sup> (King 1986) et elle oscille entre 200 000 et 300 000 grains·cm <sup>-3</sup> au site LD (Mott 1976). Le TAP est également maximal. Au site LD, il est env. 1 000 – 1 500 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> alors qu'il est > 8 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au site PETEL. Quant au site MATAMEK, il y a un pic du TAP (env. 30 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ) à la base de la ZAP, il oscille autrement dans l'intervalle de 3 000 à 10 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> .	PM/SBb	0,12	F
PMCN-2	7900–6600	<b><i>Betula</i> – <i>Alnus crispa</i> – <i>Abies balsamea</i> – <i>Picea mariana</i></b> Le début de la ZAP est marqué par une chute abrupte du pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> (20–25 %) et une augmentation d' <i>Abies balsamea</i> (15–20 %). La représentation d' <i>Abies balsamea</i> dans les assemblages est maximale. Le pollen de <i>Salix</i> et de <i>Populus</i> est toujours présent. Dans la moitié inférieure de la ZAP, le pourcentage de <i>Betula</i> augmente (20 à 40 %) et un pic (40–50 %) est observé au milieu de celle-ci. Par la suite, le pourcentage de <i>Betula</i> , d' <i>Alnus crispa</i> et d' <i>Abies balsamea</i> diminue alors que celui de <i>Picea mariana</i> augmente. Au site MATAMEK, le TAP moyen du sédiment est env. 13 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au sommet de la ZAP.	SEn ouverte	0,13	
PMCN-1	antérieur à 7900	<b><i>Alnus crispa</i> – <i>Betula</i> – <i>Picea mariana</i> (<i>Populus</i>)</b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est maximal (45–50 %). Le pollen de <i>Betula</i> et de <i>Picea mariana</i> est peu abondant (< 20 %). Quant au pollen de <i>Salix</i> et de <i>Populus</i> , il est présent et celui des plantes herbacées est peu abondant (< 5 %). Comme pour les sites de l'ouest du Labrador (PLOL), la CP est élevée. Au site MATAMEK, elle est > 50 000 grains·cm <sup>-3</sup> .	TF/PL	0,19	A
c) Secteur de la pessière à mousses — sud du Labrador (PMSL) : sites EAGLE (PL), MORAINÉ (PM), HOPESIM (PM)					
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
PMSL-5	6400–0	<b><i>Picea mariana</i> – <i>Larix</i></b> Le début est marqué par une augmentation abrupte de <i>Picea</i> ( <i>P. mariana</i> ) (70–80 %) concomitante à la chute d' <i>Abies balsamea</i> (< 5 %). Le pollen de <i>Picea</i> ( <i>P. mariana</i> ) est maximal et celui de <i>Betula</i> (10 %) est minimal. Quant au pollen de <i>Larix</i> , il est présent. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> est peu abondant (< 5 %). Aux 3 sites, le TAP augmente abruptement à la base de cette ZAP (env. 14 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ) puis diminue vers le sommet (< 4 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ; Lamb 1980, Engstrom et Hansen 1985).	PM	0,04	
PMSL-4	7800–6400	<b><i>Picea mariana</i> – <i>Abies balsamea</i> – <i>Betula</i> (<i>Alnus crispa</i>)</b> Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> (15–20 %) concomitante à une chute d' <i>Alnus crispa</i> (< 10 %) et de <i>Picea</i> ( <i>P. glauca</i> ). Par la suite, de la base au sommet, le pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> diminue et celui de <i>Betula</i> comme celui de <i>Picea</i> ( <i>P. mariana</i> ) augmente. Le TAP oscille dans l'intervalle de 8 000 à 10 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> (Lamb 1980, Engstrom et Hansen 1985).	SEn	0,12	F
PMSL-3	8400–7800	<b><i>Picea glauca</i> – <i>Alnus crispa</i> – <i>Betula</i> (<i>Abies balsamea</i>)</b> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Picea</i> ( <i>P. glauca</i> , env. 40 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> chute (env. 15 %) et celui d' <i>Alnus crispa</i> (env. 20 %) est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente. Le pollen de <i>Salix</i> est présent en traces, les herbes sont peu abondantes (< 5 %) et le pollen d' <i>Abies balsamea</i> est plus abondant (< 5 %). Le TAP augmente abruptement à la base de cette ZAP à env. 8 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> (Lamb 1980, Engstrom et Hansen 1985).	PL	0,10	

Tableau 3. (suite)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
PMSL-2	9600–8400	<b><i>Alnus crispa</i> – <i>Betula</i> – <i>Picea</i></b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est maximal (> 25 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Betula</i> , de <i>Salix</i> et des herbes diminue et celui de <i>Picea</i> ( <i>P. glauca</i> ?) augmente. Le TAP augmente de la base au sommet de cette ZAP. Il est env. 2 000 – 4 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au sommet (Lamb 1980, Engstrom et Hansen 1985).	TF/PL	0,11	A
PMSL-1	antérieur à 9600 1b, au sommet : 10900–9600 1a, à la base : antérieur à 10900	<b><i>Herbes</i> – <i>Betula</i> – <i>Salix</i> – (<i>Pinus</i>)</b> Cette ZAP se caractérise par un pourcentage maximal d'herbes (> 20 %). Le TAP est < 1 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> aux 3 sites (Lamb 1980, Engstrom et Hansen 1985). Deux sous-zones sont décelées, et l'âge de la transition est estimé à env. 9600 AA. Base (1a) (antérieur à 10900 AA) : le pollen des plantes herbacées (> 20 %) et de <i>Salix</i> (10–15 %) est abondant tout comme celui de <i>Betula</i> et de <i>Pinus</i> . Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est faible (env. 5 %). Sommet (1b) (env. 10900 – 9600 AA) : le pourcentage de <i>Betula</i> (40–50 %) est maximal dans cette ZAP. De la base au sommet, le pourcentage des herbes (env. 20 %) et de <i>Salix</i> (5–10 %) diminue et celui d' <i>Alnus crispa</i> augmente (5–10 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> , d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Pinus</i> est plus élevé au site EAGLE, le plus au nord, alors que le pollen des herbes et de <i>Salix</i> est plus abondant aux sites MORAINE et HOPESIM, plus au sud-est. • Sommet (1b) : assemblage <i>Betula</i> – Herbes ( <i>Salix</i> ) • Base (1a) : assemblage Herbes – <i>Betula</i> – <i>Salix</i> ( <i>Pinus</i> )	1b TA/TF 1a TH/TA	0,16 0,26	T
d) Secteur de la sapinière à bouleau blanc – rive nord du Saint-Laurent (SBRN : Charlevoix/Laurentides) : sites MADE (SBb), MAIN (SBb), MARC (SBj)					
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SBRN-7	4800–0	<b><i>Betula</i> – <i>Picea mariana</i> – <i>Pinus</i> (<i>Abies balsamea</i> – <i>Fagus grandifolia</i>)</b> Le début de cette ZAP est plus ou moins bien marqué. Dans l'ensemble, les pourcentages d' <i>Abies balsamea</i> et de <i>Fagus grandifolia</i> augmentent. On note aussi une légère augmentation de <i>Picea mariana</i> et une diminution de <i>Betula</i> . Le pollen de <i>Picea mariana</i> est maximal, et il est plus abondant aux sites MADE et MAIN (20–25 %) qu'au site MARC (5–10 %). La CP diminue légèrement de la base au sommet aux sites MADE et MAIN, alors qu'elle augmente au site MARC. Le TAP diminue fortement à la base de la ZAP au site MAIN, alors qu'il le fait plus doucement aux sites MADE et MARC. Aux sites MADE et MAIN, le TAP est env. 2 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au sommet, alors qu'il est env. 6 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> au site MARC.	SEn/SBb	0,13	
SBRN-6	6800–4800	<b><i>Betula</i> – <i>Pinus strobus</i> – <i>Picea mariana</i></b> Au site MARC, le début de cette ZAP est marqué par une chute du pourcentage de <i>Pinus strobus</i> concomitante à une augmentation de <i>Betula</i> (> 50 %). Quant aux sites MADE et MAIN, l'abondance de <i>Picea mariana</i> (15–20 %) augmente légèrement de la base au sommet et celui de <i>Betula</i> diminue (< 50 %). Pour l'ensemble des sites, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Populus</i> est très faible. Le pourcentage de <i>Tsuga canadensis</i> (< 5 %) est maximal. Le TAP est également dans l'ensemble maximal (8000 - 9000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ).	SBb/SBj	0,13	F
SBRN-5	8400–6800	<b><i>Betula</i> – <i>Pinus strobus</i></b> Au site MARC, le début de cette ZAP est marqué par une augmentation de <i>Pinus strobus</i> et une diminution de <i>Betula</i> . Quant aux sites MADE et MAIN, le pourcentage de <i>Betula</i> augmente et celui d' <i>Abies balsamea</i> diminue (< 5 %). Le pollen de <i>Betula</i> est maximal (55–60 %) aux 2 sites de la SBb. À ces sites, l'augmentation du pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est moins marqué qu'au site MARC. Pour tous les sites, la diminution progressive du pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est terminée au sommet de la ZAP et il restera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence.	SBb/SBj	0,13	
SBRN-4	9200–8400	<b><i>Betula</i> – <i>Pinus</i> – <i>Abies balsamea</i></b> Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation abrupte d' <i>Abies balsamea</i> (5–10 %), suivie d'une chute, puis d'une diminution graduelle d' <i>Alnus crispa</i> . Le pollen de <i>Picea mariana</i> et de <i>Pinus</i> est peu abondant (< 10–15 %). Au site MARC, le pourcentage de <i>Betula</i> augmente abruptement à la base de la ZAP, alors qu'il le fait plutôt graduellement de la base au sommet aux sites MADE et MAIN. Le pourcentage de <i>Betula</i> est maximal au site MARC (50–60 %). La CP et le TAP augmentent légèrement de la base au sommet. Le TAP moyen est env. 7 000 - 8 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> .	SBb ouverte?	0,16	

Tableau 3. (suite)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SBRN-3	10 100–9200	<b>Betula – Alnus crispa – Pinus banksiana – Picea mariana (Populus)</b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente abruptement à la base de la ZAP. L'abondance de <i>Salix</i> , de <i>Juniperus</i> et de <i>Populus</i> chute. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Betula</i> augmente graduellement. La CP et le TAP augmentent abruptement à la base de la ZAP. • Pic d'abondance d' <i>Alnus crispa</i>	TF/PL	0,17	
SBRN-2	10 500–10 100	<b>Betula – Pinus banksiana – Populus (Juniperus)</b> Cette ZAP n'est pas bien définie aux sites MADE et MAIN. Au site MARC, le début de cette ZAP est marqué par une chute du pourcentage de <i>Salix</i> et des herbes (< 10 %). On note également une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Populus</i> , de <i>Betula</i> et de <i>Juniperus</i> . Au sommet, il y a un pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> . La CP et le TAP augmentent de la base au sommet. Au site MARC, le TAP moyen est env. 3 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> . • Sommet : pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> • Base : pic d'abondance de <i>Populus</i> , de <i>Juniperus</i> et de <i>Betula</i>	TP ouverte	0,28	A
SBRN-1	antérieur à 10 500	<b>Herbes – Betula – Salix – Pinus banksiana</b> Cette ZAP se caractérise par un pourcentage maximal d'herbes (> 20 %) et de <i>Salix</i> (> 10 %). Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> est peu abondant. La CP est minimale (< 30 000 grains·cm <sup>-3</sup> ) et le TAP est < 500 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> (MARC). À ce site, la CP augmente graduellement de la base au sommet. Deux sous-zones sont décelées. Base (1a) : les assemblages sont riches en <i>Betula</i> , en herbes, en <i>Picea mariana</i> et en <i>Pinus (P. banksiana)</i> . Par la suite, le pourcentage des conifères et de <i>Betula</i> chute et celui de <i>Salix</i> augmente. L'abondance du pollen des plantes herbacées est de ~ 20 %. Sommet (1b) : le pourcentage d'herbes augmente abruptement (> 50 %) et un second pic d'abondance de <i>Salix</i> est observé. • Sommet : pic d'abondance de <i>Salix</i> et ensuite des herbes • Base : pic d'abondance de <i>Betula</i> , de <i>Pinus (banksiana)</i> et de <i>Picea mariana</i> • Sommet (1b) : assemblage Herbes – <i>Salix</i> • Base (1a) : assemblage <i>Betula</i> – Herbes – <i>Picea mariana</i> – <i>Pinus banksiana</i>	TH/TA	0,24	T
e) Secteur de la sapinière à bouleau jaune – rive sud du Saint-Laurent (SJRS : Bas-Saint-Laurent/Témiscouata) : sites MORO (SBj), FOURX (SBj), BEAZ (SBj)					
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SJRS-7	3 200–0	<b>Betula – Pinus – Picea mariana (Abies balsamea – Juniperus – Fagus grandifolia)</b> Le début de cette ZAP est mieux défini que pour les sites au nord du Saint-Laurent (SBRN). Dans l'ensemble, on note une augmentation du pourcentage de <i>Picea mariana</i> , de <i>Fagus grandifolia</i> , d' <i>Abies balsamea</i> et de <i>Juniperus</i> et une diminution de celui de <i>Pinus</i> . La CP diminue légèrement. Le TAP est près de deux fois moindre que celui de la ZAP précédente.	(SBb/SBj) SBj	0,13	
SJRS-6	6 300–3 200	<b>Betula – Pinus strobus</b> Le début de cette ZAP est plus ou moins bien marqué et elle pourrait être groupée à la ZAP précédente (ZAP 5) (Richard et al. 1992). Dans l'ensemble, son début est marqué par une augmentation du pourcentage de <i>Betula</i> et une diminution de <i>Pinus strobus</i> . Le TAP est maximal à la base de la ZAP. Ensuite, il diminue de la base au sommet.	SBj/EBj	0,13	
SJRS-5	7 400–6 300	<b>Betula – Pinus strobus</b> Le début est marqué par une augmentation abrupte de <i>Pinus strobus</i> . Le pollen de <i>Populus</i> est absent ou présent en traces. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est très faible (< 3 %) et ce jusqu'au sommet de la séquence.	SBj/EBj	0,14	F
SJRS-4	9 400–7 400	<b>Betula – Pinus (Picea mariana – Alnus crispa – Abies balsamea – Populus)</b> Le début est marqué par une chute abrupte, suivie d'une diminution graduelle d' <i>Alnus crispa</i> , et par une augmentation de <i>Betula</i> et d' <i>Abies balsamea</i> – <i>Betula</i> est maximal comme pour le site MARC (SBj, secteur de la SBRN). Le pollen de <i>Populus</i> est présent, mais son pourcentage est très faible. La CP augmente abruptement à la base de la ZAP, alors que l'augmentation du TAP est plus graduelle. La valeur du TAP moyen des 3 sites est comparable (env. 10 000 - 12 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ).	SBb/SBj	0,15	

Tableau 3. (suite)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SJRS-3	10 400–9 400	<p><b><i>Alnus crispa</i> — <i>Picea mariana</i> — <i>Betula</i> (<i>Populus</i>)</b></p> <p>Le début est marqué par un pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> (&gt; 30 %), suivi d'un pic d'<i>Alnus crispa</i> (&gt; 40 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> diminue. Quant au pourcentage de <i>Salix</i>, il est très faible. Au site FOURX, le pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> est observé au sommet de la ZAP précédente (SJRS-2). Quant au site BEAZ, le pourcentage d'<i>Alnus crispa</i> est plus faible (~ 20 %). La CP augmente abruptement à la base de la ZAP au site MORO, et plus graduellement aux sites FOURX et BEAZ. La valeur du TAP moyen des 3 sites est comparable (env. 6 000 – 7 000 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sommet : pic d'abondance d'<i>Alnus crispa</i></li> <li>• Base : pic d'abondance de <i>Picea mariana</i></li> </ul>	TF/PL	0,15	A
SJRS-2	10 900–10 400	<p><b><i>Betula</i> — <i>Populus</i> — Herbes — <i>Picea mariana</i> (<i>Alnus crispa</i> — <i>Salix</i> — <i>Juniperus</i>)</b></p> <p>Le début de cette ZAP est marqué par une chute abrupte des herbes et de <i>Salix</i>, suivie d'une série de pics : <i>Betula</i> — <i>Juniperus</i> — <i>Populus</i> (et <i>Picea mariana</i>). La CP augmente graduellement de la base au sommet. Le TAP moyen est env. 1 000 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De la base au sommet : pic d'abondance de 1) <i>Betula</i>, 2) <i>Juniperus</i> et 3) <i>Populus</i></li> </ul>	TP ouverte	0,31	
SJRS-1	antérieur à 10 900	<p><b>Herbes — <i>Pinus banksiana</i> — <i>Betula</i> (<i>Picea mariana</i> — <i>Salix</i> — <i>Alnus crispa</i>)</b></p> <p>Cette ZAP se caractérise par un pourcentage maximal d'herbes (&gt; 20 %). Le pollen d'<i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> est peu abondant. Celui de <i>Salix</i> est présent (&lt; 10 %). La CP est minimale (&lt; 12 000 grains·cm<sup>-3</sup>) et le TAP est &lt; 150 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup> (site MORO). Deux sous-zones sont décelées. Base (<b>1a</b>) : le pollen de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Picea mariana</i> est abondant (env. 20 %). En comparaison au site MARC (SBRN), le pourcentage des conifères est plus élevé aux sites MORO et FOURX et celui de <i>Betula</i> est plus faible. Au site FOURX, des grains de pollen de provenance lointaine (<i>Fagus grandifolia</i>) sont présents dans les assemblages. Sommet (<b>1b</b>) : le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Picea mariana</i> chute et celui des plantes herbacées (40–50 %) et de <i>Salix</i> (5–10 %) augmente. Contrairement au site MARC (SBRN), l'augmentation du pourcentage de <i>Salix</i> est synchrone à celle du pollen des plantes herbacées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sommet : pic d'abondance des herbes et de <i>Salix</i></li> <li>• Base : pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> et de <i>Pinus banksiana</i></li> <li>• Sommet (<b>1b</b>) : assemblage Herbes — <i>Pinus banksiana</i> — <i>Betula</i> — <i>Salix</i></li> <li>• Base (<b>1a</b>) : assemblage <i>Pinus banksiana</i> — <i>Picea mariana</i> — Herbes — <i>Betula</i></li> </ul>	TH/TA	0,24	T

Tableau 3. (suite)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SBCG-7	3 400–0	<b>Betula – Picea mariana (Abies balsamea – Fagus grandigolia)</b> Dans l'ensemble, le pourcentage de <i>Picea mariana</i> , d' <i>Abies balsamea</i> et de <i>Fagus grandifolia</i> augmente et celui de <i>Pinus</i> diminue. Le pourcentage de <i>Picea mariana</i> est plus élevé au site TRIANG (40 %), à plus basse altitude (465 m), qu'au site DOLB (15–20 %) (965 m). À l'inverse, le pourcentage de <i>Betula</i> est plus élevé au site DOLB (55–60 %) qu'au site TRIANG (35–40 %). La CP est plus faible que dans la ZAP précédente et le TAP diminue vers le sommet.	SEn/SBb	0,12	
SBCG-6	5 800–3 400	<b>Betula – Picea mariana – Pinus strobus (Abies balsamea)</b> La transition de la ZAP 5/6 n'est pas très bien définie. De la base au sommet, on observe une diminution du pourcentage de <i>Pinus strobus</i> et de <i>Betula</i> (40–50 %) et une légère augmentation de celui de <i>Picea mariana</i> (> 15–20 %), comme aux sites MAIN et MADE (SBb) au nord du Saint-Laurent (SBRN). Le pollen de <i>Populus</i> est absent ou en traces.	SBb/SBj	0,12	
SBCG-5	7 800–5 800	<b>Betula – Picea mariana – Pinus strobus</b> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Betula</i> . De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente graduellement et celui d' <i>Abies balsamea</i> diminue. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> diminue progressivement. Au sommet de la ZAP, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est très faible (< 5 %) et il le demeurera jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage de <i>Betula</i> est maximal (> 50–55 %). Dans l'ensemble, la CP et le TAP sont maximaux dans cette ZAP.	SBb/SBj	0,12	F
SBCG-4	9 100–7 800	<b>Betula – Alnus crispa – Picea mariana – Abies balsamea</b> Le pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> augmente abruptement à la base de la ZAP (> 10 %). De la base au sommet, on note une augmentation graduelle du pourcentage de <i>Betula</i> concomitante à une diminution d' <i>Alnus crispa</i> . La CP et le TAP augmentent à la base de la ZAP. Le TAP moyen des sites EBR et TRIANG est comparable (env. 6 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ).	SBb ouverte?	0,15	
SBCG-3	9 800–9 100	<b>Alnus crispa – Betula – Picea mariana</b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente abruptement à la base de la ZAP (env. 40 %) et celui de <i>Picea mariana</i> chute (env. 20 %). Le pollen de <i>Salix</i> est présent en traces. De la base au sommet, la CP et le TAP augmentent graduellement. • Pic d'abondance d' <i>Alnus crispa</i>	TF/PL	0,13	
SBCG-2	10 400–9 800	<b>Picea mariana – Betula – Alnus crispa – Pinus banksiana (Herbes – Juniperus)</b> Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Picea mariana</i> concomitante à une diminution de <i>Betula</i> . Le pollen de <i>Salix</i> chute à la base de la ZAP. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente graduellement de la base au sommet, comme la CP et le TAP. Le TAP moyen est < 3 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> . • Pic d'abondance de <i>Picea mariana</i>	TF/PL	0,11	A
SBCG-1	antérieur à 10 400  1b, au sommet : env. 10 900–10 400  1a, à la base : antérieur à 10 900	<b>Herbes – Betula – Pinus banksiana – Picea mariana (Salix – Juniperus)</b> Cette ZAP se caractérise par un pourcentage maximal d'herbes (> 20 %). La CP est minimale et le TAP moyen est < 1 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> . Deux sous-zones sont décelées. Base (1a) : le pourcentage des herbes est maximal (> 20 %) et le pollen de <i>Pinus banksiana</i> est abondant (> 15 %). Sommet (1b) : le pourcentage de <i>Betula</i> augmente abruptement (30–40 %) et celui des herbes et de <i>Pinus banksiana</i> diminue. Le pollen de <i>Salix</i> est abondant (> 5 %) et celui de <i>Juniperus</i> est présent. • Sommet : pic d'abondance de <i>Betula</i> et de <i>Salix</i> • Base : abondance d'herbes et de <i>Pinus banksiana</i> • Sommet (1b) : assemblage <i>Betula</i> – Herbes – <i>Salix</i> • Base (1a) : assemblage Herbes – <i>Pinus banksiana</i> – <i>Picea mariana</i> – <i>Betula</i>	1b TA/TF  1a TH/TA	0,21  0,20	T

Tableau 3. (suite)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
g) Secteur de la sapinière à bouleau jaune — côte nord de la Gaspésie (SJNG : haute Gaspésie) : sites PERDU (SBj), JARX (SBj), BOUCHX (SBj)					
SJNG-7	3 000–0	<b>Betula (Picea mariana — Pinus — Abies balsamea)</b> Dans l'ensemble, le pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> et de <i>Picea mariana</i> augmente et celui de <i>Pinus</i> diminue. On observe une légère augmentation d' <i>Alnus crispa</i> au sommet. La CP et le TAP diminuent de la base au sommet. De 1 000 ans AA à aujourd'hui, la tendance et la valeur du TAP des 3 sites sont très comparables : le taux passe de plus de 8 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> (1 000 ans AA) à moins de 5 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> (aujourd'hui).	SBb/SBj	0,12	
SJNG-6	5 300–3 000	<b>Betula — Pinus strobus</b> Le début de cette ZAP n'est pas clairement défini. Sa signature est hétérogène à travers les sites. Il y a une diminution du pourcentage de <i>Betula</i> et une augmentation de <i>Pinus strobus</i> aux sites PERDU et JARX alors que le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> diminue et <i>Betula</i> augmente au site BOUCHX. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Populus</i> est très faible. L'abondance de <i>Tsuga canadensis</i> est très faible, mais une légère chute de son pourcentage est observée au début de la ZAP. La CP est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente. Le TAP augmente légèrement de la base au sommet. Le TAP est maximal dans cette ZAP.	SBj	0,13	F
SJNG-5	7 400–5 300	<b>Betula — Pinus strobus</b> Le début est marqué par une augmentation du pollen de <i>Betula</i> . Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est maximal. Il augmente à la base de la ZAP au site BOUCHX et un peu plus haut dans la séquence aux sites PERDU et JARX. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est faible et diminue progressivement de la base au sommet. Le pollen de <i>Betula</i> est maximal. La CP est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente et le TAP augmente abruptement à la base de la ZAP.	SBj	0,15	
SJNG-4	8 500–7 400	<b>Betula — Alnus crispa — Abies balsamea</b> Cette ZAP est absente au site JARX. Son début est marqué par la chute du pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> . Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> augmente à la base et celui de <i>Populus</i> diminue. De la base au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> diminue progressivement et celui de <i>Betula</i> augmente. Le pollen de <i>Populus</i> est présent, mais son pourcentage est très faible (env. 2 %). La CP et le TAP chutent à la base de la ZAP. Aux environs de 8 000 ans AA, le TAP des 3 sites est très comparable (7 000 – 8 000 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ).	SBb/SBj	0,19	
SJNG-3	9 700–8 500	<b>Alnus crispa — Betula (Populus)</b> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente abruptement (70–80 %) à la base de la ZAP, et ceux de <i>Picea mariana</i> et de <i>Betula</i> chutent. Le pollen de <i>Populus</i> est abondant (5–10 %). La CP et le TAP augmentent abruptement à la base de la ZAP. • Pic d'abondance d' <i>Alnus crispa</i>	TF/PL	0,28	
SJNG-2	10 700–9 700	<b>Betula — Picea mariana (Alnus crispa — Herbes — Pinus banksiana — Populus — Juniperus — Salix)</b> Le début, marqué par un pic d'abondance de <i>Betula</i> (base), est suivi d'un autre de <i>Picea mariana</i> (sommet). Le pourcentage de <i>Populus</i> augmente à la base et celui de <i>Salix</i> diminue. De la base au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente graduellement et celui de <i>Betula</i> diminue. La CP et le TAP sont en augmentation de façon graduelle de la base au sommet. • Sommet : pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> • Base : pic d'abondance de <i>Betula</i> et augmentation de <i>Populus</i> et de <i>Juniperus</i>	TF/PL	0,23	A
SJNG-1	antérieur à 10 700 1b, au sommet : env. 11 500–10 700 1a, à la base : antérieur à 11 500	<b>Herbes — Betula — Pinus banksiana — Salix</b> Cette ZAP, absente au site BOUCHX, se caractérise par un pourcentage maximal d'herbes (> 20 %). La CP est minimale et le TAP moyen est < 500 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> . Deux sous-zones sont décelées. À la base (1a) : le pollen des plantes herbacées (> 20 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (15–20 %) domine les assemblages. Le pollen de <i>Betula</i> et de <i>Picea mariana</i> est également abondant. Au sommet (1b) (env. 10 700 AA) : le pollen des plantes herbacées et de <i>Pinus banksiana</i> chute et celui de <i>Salix</i> et de <i>Betula</i> augmente. • Sommet : pic d'abondance de <i>Salix</i> • Base : herbes et <i>Pinus banksiana</i> abondants et 3 pics d'abondance de <i>Betula</i> • Sommet (1b) : assemblage <i>Betula</i> — <i>Salix</i> — Herbes • Base (1a) : assemblage Herbes — <i>Betula</i> — <i>Pinus banksiana</i> — <i>Picea mariana</i>	1b TA/TF 1a TH/TA	0,26 0,24	T

Tableau 3. (suite et fin)

ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation	SCD <sub>max</sub>	Phase
SJSG-7	3700–0	<b>Betula – Pinus (<i>Abies balsamea</i> – <i>Juniperus</i> – <i>Fagus grandifolia</i>)</b> Le début de cette ZAP est marqué par une diminution du pourcentage de <i>Pinus</i> et une augmentation de <i>Betula</i> et de <i>Fagus grandifolia</i> . Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> augmente au site CARIB et celui de <i>Juniperus</i> , au site ROBIN. Contrairement aux autres sites de la Gaspésie, il n'y a pas d'augmentation de <i>Picea mariana</i> dans cette ZAP. La CP et le TAP diminuent de la base au sommet.	SBj	0,13	
SJSG-6	6500–3700	<b>Betula – Pinus</b> Le début de cette ZAP n'est pas clairement défini. On note une légère augmentation du pollen de <i>Betula</i> . Quant à celui d' <i>Alnus incana</i> , il augmente à la base de la ZAP et il demeurera constant jusqu'au sommet.	SBj	0,14	
SJSG-5	8100–6500	<b>Betula – Pinus strobus</b> Le début est marqué par une augmentation abrupte du pollen de <i>Pinus strobus</i> , comme pour les sites de la SBj du Témiscouata/Bas Saint-Laurent (SJRS). Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> et d' <i>Abies balsamea</i> chute. Le pollen de <i>Populus</i> est absent ou présent en traces uniquement.	SBj	0,12	F
SJSG-4	9700–8100	<b>Betula – Alnus crispa (<i>Picea mariana</i> – Pinus – <i>Abies balsamea</i>)</b> Le pourcentage de <i>Betula</i> (50–60 %) augmente abruptement à la base de la ZAP et celui d' <i>Alnus crispa</i> chute. Aux autres sites de la Gaspésie, cette augmentation de <i>Betula</i> est plutôt observée au début de la ZAP suivante. On note une légère augmentation du pourcentage d' <i>Abies balsamea</i> à la base de la ZAP. Le pollen de <i>Populus</i> est présent, mais en faible abondance (env. 1 %). La CP et le TAP augmentent à la base de la ZAP, elle est plus prononcée au site CARIB.	SBb/SBj	0,15	
SJSG-3	11000–9700	<b>Picea mariana – Betula – Alnus crispa (<i>Populus</i> – <i>Salix</i>)</b> Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> (15–25 %) et celui de <i>Populus</i> (< 5 %) augmentent, alors que celui de <i>Picea mariana</i> diminue. La CP et le TAP augmentent graduellement de la base au sommet de la ZAP. • Pic d'abondance d' <i>Alnus crispa</i> ( <i>Populus</i> )	PM/SBb ouverte	0,13	
SJSG-2	12500–11000	<b>Picea mariana – Betula – Pinus banksiana (Herbes – <i>Abies balsamea</i> – <i>Alnus crispa</i> – <i>Salix</i>)</b> Le début de la ZAP est marqué par une chute du pollen des plantes herbacées et de <i>Pinus banksiana</i> , suivi d'un pic d'abondance de <i>Betula</i> et de <i>Salix</i> puis d'un autre pour <i>Picea mariana</i> . Cette série est mieux définie au site ROBIN. • Sommet : pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> • Base : pic d'abondance de <i>Betula</i> et de <i>Salix</i>	PM/SBb ouverte	0,15	A
SJSG-1	antérieur à 12500	<b>Herbes – Pinus banksiana – Picea mariana – Betula (<i>Alnus crispa</i> – <i>Salix</i>)</b> Le pollen des plantes herbacées et de <i>Pinus banksiana</i> est abondant. Les herbes sont particulièrement abondantes au site CARIB. Le pollen de <i>Salix</i> est présent. La CP est minimale et le TAP est fort probablement < 500 grains·cm <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> .	TH/TA	0,17	T

Les ZAP basales (ZAP 1) correspondent généralement au sédiment inorganique des séquences. Comme il n'y a que peu ou pas de dates au radiocarbone pour ces sédiments (annexe 3), leur chronologie générale et leur durée sont approximatives. Par ailleurs, pour les premiers sédiments accumulés dans les lacs juste après la déglaciation, il faut tenir compte du fait qu'avant l'installation d'un couvert végétal local et régional, les apports polliniques étaient souvent essentiellement exotiques, lointains, et ne représentaient absolument pas les conditions quasi désertiques qui pouvaient régner initialement aux alentours. Dans l'est du Québec et le Labrador méridional, comme ailleurs, la dissimilarité (SCD)

entre les assemblages postglaciaires et ceux de la base de données modernes est généralement plus grande pour les ZAP du début de la période que pour celles plus « récentes » sises au sommet des séquences (tableau 3). Autrement, les assemblages polliniques postglaciaires ont tous une contrepartie (ou un assemblage analogue) dans la base de données modernes.

Près de 90 % des analogues modernes retenus pour reconstituer la végétation postglaciaire des 35 sites proviennent de la toundra forestière, de la forêt boréale et de la forêt mixte de l'est du Canada, c'est-à-dire des sites inclus dans la base

de données modernes analysée par Fréchette *et al.* (2018) et dont la végétation actuelle à proximité a été estimée à l'échelle des domaines bioclimatiques (supplément 3 [disponible à part] et annexe 6). Pour les 3 secteurs des pessières (PLOL, PMCN et PMSL), les analogues des ZAP basales proviennent principalement de la toundra forestière (TF), et ceux des ZAP supérieures, de la forêt boréale (PL, PM et PM/SBb). Pour les 5 secteurs des sapinières, peu d'analogues proviennent de la forêt boréale; cela est tout particulièrement vrai pour la partie occidentale du territoire d'étude, dans la région de Charlevoix/Laurentides (secteur de la SBRN) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS). Dans la partie orientale, en Gaspésie (secteurs de la SBCG, de la SJNG et de la SJSG), quelques analogues provenant de la forêt boréale ont été associés aux assemblages de l'époque de l'afforestation. Autrement, les analogues des 5 secteurs proviennent généralement de la toundra forestière. Pour les ZAP de la phase forestière, les analogues des 3 secteurs dans le domaine de la SBj (SJRS, SJNG et SJSG) proviennent principalement du domaine de la SBj. Ceux des autres proviennent de la SBj et des érablières (EBj et ET). Pour les 2 secteurs de la SBb (SBRN et SBCG), les analogues du domaine de la SBj dominent également, mais certains proviennent du sud de la forêt boréale (PM/SBb).

Des analogues en provenance de l'Arctique, de la forêt décidue et des prairies (c'est-à-dire des sites exclus de la base de données de Fréchette *et al.* (2018) et pour lesquels la végétation actuelle à proximité n'a pas été estimée) ont parfois été retenus pour les assemblages polliniques initiaux et qui datent du début de la période postglaciaire (antérieure à env. 9000 ans AA). Parmi eux, plus de 65 % proviennent de l'Arctique, et la végétation postglaciaire a été interprétée comme une toundra herbacée (TH) ou arbustive (TA). Ces analogues ont essentiellement été retenus pour les ZAP basales des secteurs de la PMSL, de la SBRN, de la SJRS, de la SBCG, de la SJNG et de la SJSG (supplément 3, disponible à part). Les quelques analogues en provenance de la forêt décidue n'ont généralement pas été pris en considération, car la somme pollinique de base des échantillons postglaciaires était inférieure à 100 grains. Par ailleurs, ces échantillons sont de façon générale situés stratigraphiquement sous la date basale et donc exclus des synthèses à l'échelle des millénaires. Ils correspondent d'ailleurs à des apports polliniques lointains dans des paysages localement dépourvus ou presque de végétation. Finalement, les quelques

analogues en provenance des prairies et à SCD élevée ont conduit à la reconstitution d'une végétation de tremblaie-parc (ZAP SBRN-2 et SJRS-2).

### 3.3.1.1 Pessières occidentales

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites des domaines de la PL (COGHILL, HARRIE et GRAS) et de la PM (PETEL, MATAMEK et LD) sont dominés par le pollen de *Picea*, de *Betula* et d'*Alnus crispa* (figures 8a et 8b, tableaux 3a et 3b). Le pollen de *Picea* est abondant dans le nord de la région (secteur de la PLOL, env. 52–53° N.), et celui de *Betula* l'est plus dans le sud (secteur de la PMCN, env. 50° N.). Le pollen des plantes herbacées est peu représenté.

Les diagrammes polliniques postglaciaires des sites des secteurs de la PLOL (COGHILL, HARRIE et GRAS; ouest du Labrador) et de la PMCN (PETEL, MATAMEK et LD; Côte-Nord) ont été segmentés en 4 ZAP. La chronologie des ZAP pour les sites d'un même secteur est synchronisée (annexe 9). La même série de ZAP caractérise les sites de ces deux secteurs. Elles commencent toutefois environ 1500 ans plus tôt dans le sud de la région (secteur de la PMCN) que dans le nord (secteur de la PLOL) (figure 9). Ce délai s'explique par l'âge de la déglaciation.

### 3.3.1.2 Pessières orientales

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites de la PL (EAGLE) et de la PM (MORAINE et HOPESIM) sont dominés par le pollen de *Picea* depuis environ 6500 ans (figure 8c, tableau 3c). Le pollen de plantes herbacées, d'*Alnus crispa* et de *Betula* est abondant à la base des diagrammes.

Les diagrammes polliniques postglaciaires des sites du secteur de la PMSL (EAGLE, MORAINE et HOPESIM; sud du Labrador) ont été segmentés en 5 ZAP, et la première a été subdivisée (1a et 1b). La zonation proposée se compare à celle de Engstrom et Hansen (1985) pour les sites MORAINE et HOPESIM) et à celle de Lamb (1980) pour le site EAGLE. La chronologie des ZAP est relativement synchronisée entre les sites (annexe 9). Celles du site EAGLE, libéré plus tardivement des glaces, commencent et se terminent environ 500 ans plus tard que celles des 2 autres. La palynostratigraphie de ce secteur est différente de celle des 2 secteurs des pessières occidentales (PLOL et PMCN; figure 9).

### 3.3.1.3 Sapinières occidentales

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites de la SBb (MADE et MAIN; haute altitude = 700–800 m) et de la SBj (MARC, MORO,

FOURX et BEAZ) sont dominés par *Betula* depuis environ 9000 ans AA (figure 8d et e, tableau 3d et e). Le pollen de *Picea* (*P. mariana*) est abondant dans la SBb, et celui de *Pinus strobus* l'est dans la SBj. Quant à ceux de plantes herbacées et d'*Alnus crispa*, ils sont bien représentés à la base des diagrammes.

Les diagrammes polliniques des sites des secteurs de la SBRN (MADE, MAIN et MARC; Charlevoix/Laurentides) et de la SJRS (MORO, FOURX et BEAZ; Bas-Saint-Laurent/Témiscouata) ont été segmentés en 7 ZAP. La ZAP 2 n'a pas été observée au site MADE, et la ZAP basale (ZAP 1) a été subdivisée (1a et 1b) aux sites MARC, MORO et FOURX. La zonation proposée se compare à celles de Bussièrès (1992) pour les sites MADE et MAIN, de Labelle et Richard (1981) pour le site MARC, de Richard et Larouche (1994) pour le site MORO, de Richard *et al.* (1992) pour le site FOURX et de Burke et Richard (2010) pour le site BEAZ. Dans les 2 secteurs, la limite entre les ZAP 5 et 6 est parfois difficile à établir, ce qui a conduit Richard et Larouche (1994) et Richard *et al.* (1992) à les regrouper.

Une série de pics d'abondance est manifeste à la base des diagrammes des 2 secteurs, selon la séquence suivante : 1) *Pinus banksiana* et *Picea mariana* (ZAP 1a); 2) plantes herbacées et *Salix* (ZAP 1b); 3) *Betula*, *Juniperus* et *Populus* (ZAP 2); et 4) *P. mariana* et *Alnus crispa* (ZAP 3).

La chronologie des ZAP des sites d'un même secteur est synchrone (annexe 9). Dans le secteur de la SBRN, un léger décalage est cependant observé entre les sites MADE et MAIN (dans la SBb) et le site MARC (dans la SBj). La même série de ZAP est manifeste, mais la durée des ZAP est différente selon le secteur, notamment pour les ZAP 4 à 7 (phase forestière).

Dans le secteur de la SBRN, les sites MADE et MAIN (massif des Laurentides) sont très près l'un de l'autre et appartiennent à la SBb, alors que le site MARC (marge sud du massif), plus à l'ouest, se trouve dans la SBj. Le site MARC se trouve à environ 110 km à l'est du site MART (lac Martini) qui a servi pour étudier le sous-domaine de la SBj de l'Ouest (Fréchette *et al.* 2018). Les diagrammes polliniques des 3 sites du secteur de la SBRN (figure 8d) sont légèrement différents. Les assemblages des sites MADE et MAIN (SBb) sont riches en pollen de *Picea* (*P. mariana*) (> 15–20 %, ZAP 5, 6 et 7), alors qu'au site MARC (SBj), le pourcentage de *Picea* n'excède jamais 10 % dans les assemblages des 9000 dernières années (ZAP 4, 5, 6 et 7). Puisque la végétation actuelle et les assemblages

polliniques du site MARC sont différents de ceux des sites MADE et MAIN, il en va probablement de même pour la végétation postglaciaire. Afin de comparer la dynamique de la végétation postglaciaire de la SBb de la rive nord du fleuve Saint-Laurent (secteur de la SBRN) à celle de la SBj de la rive sud (secteur de la SJRS), la végétation reconstituée du secteur SBRN, notamment celle des 4 ZAP supérieures associées à la phase forestière, est principalement basée sur les assemblages polliniques des sites MADE et MAIN, alors que celle du secteur SJRS est fondée sur les assemblages de 3 sites (MORO, FOURX, BEAZ).

#### 3.3.1.4 Sapinières orientales

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites des domaines bioclimatiques de la SBb (haute altitude, soit 400–600 m) et de la SBj (tout au plus à 150 m au-dessus du niveau de la mer) sont dominés par *Betula* depuis environ 9000 ans AA (figures 8f, 8g et 8h, tableaux 3f, 3g et 3h). Le pollen de *Picea* (*P. mariana*) et d'*Abies balsamea* est abondant dans la SBb, tandis que celui de *Pinus strobus* l'est plus dans la SBj. Le pollen de plantes herbacées et d'*Alnus crispa* est abondant à la base des diagrammes.

Les diagrammes polliniques des secteurs de la SBCG (sites DOLB, EBR et TRIANG; plateau de la Gaspésie; figure 8f et tableau 3f), de la SJNG (sites PERDU, JARX et BOUCHX; haute Gaspésie; figure 8g et tableau 3g) et de la SJSJG (sites CARIB et ROBIN; baie des Chaleurs; figure 8h et tableau 3h) ont été segmentés en 7 ZAP. La ZAP 1 n'a pas été observée au site BOUCHX, alors que la ZAP 4 n'est pas décelée au site JARX, probablement en raison d'une perte de matériel lors de l'échantillonnage effectué sur le terrain. La ZAP basale (ZAP 1) a été subdivisée en deux sous-zones (1a et 1b) aux sites DOLB, EBR, TRIANG, PERDU et JARX. La zonation proposée se compare à celles de Asnong et Richard (2003) pour les sites TRIANG et BOUCHX, de Marcoux et Richard (1995) pour le site JARX, et de Jetté et Richard (1992) pour les sites CARIB et ROBIN. Les diagrammes des sites DOLB et EBR (tous deux dans le secteur de la SBCG) ainsi que celui du site PERDU (secteur de la SJNG) sont inédits. Comme pour les sites des sapinières occidentales, la limite entre les ZAP 5 et 6 est parfois difficile à établir, ce qui explique pourquoi elles ont été regroupées par Asnong et Richard (2003) et Marcoux et Richard (1995).

Comme c'était le cas pour les sites des 2 secteurs des sapinières occidentales (SBRN, SJRS), une série de pics d'abondance est manifeste à la base des diagrammes des 3 secteurs des sapinières orientales (SBCG, SJNG, SJSJG), selon la séquence

suivante : 1) *Pinus banksiana* et plantes herbacées (ZAP 1a); 2) *Salix* et *Betula* (ZAP 1b); 3) *Betula* et *Picea mariana* (ZAP 2); et 4) *Alnus crispa* (ZAP 3).

La chronologie des ZAP des sites d'un même secteur est relativement synchrone (annexe 9). Dans le secteur de la SBCG (plateau de la Gaspésie), un léger décalage est observé entre le site EBR et les sites DOLB et TRIANG. Les ZAP 4 et 6 sont de plus courte durée au site EBR. La chronologie et la signature pollinique des ZAP du secteur de la SBCG se comparent à celles des sites de la SBb du secteur de la SBRN (Charlevoix/Laurentides, sites MAIN et MADE). De la même façon, la chronologie et la signature pollinique dans le secteur de la SJSG (baie des Chaleurs) ressemblent à celles des sites du secteur de la SJRS (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata). Dans le secteur de la SJNG (haute Gaspésie), les ZAP 2, 3 et 4 du site BOUCHX, qui est le plus à l'est, se terminent plus tard que celles des sites JARX et PERDU. Les ZAP des sites du secteur SJSG (baie des Chaleurs) commencent presque toujours environ 1 000 ans plus tôt qu'ailleurs en Gaspésie. Dans le secteur de la SBCG (plateau de la Gaspésie) et la SJNG (haute Gaspésie), le début des ZAP 2 et 3 est synchrone à travers les 6 sites. Il en va autrement de la fin de la ZAP 3, qui est riche en pollen d'*Alnus crispa*. La ZAP 3 se termine vers 9 100 ans AA dans les sites du secteur de la SBCG, mais plus tardivement (vers 8 500 ans AA) dans le secteur de la SJNG. Cette fin tardive de la ZAP 3 est toutefois synchrone à celle de la ZAP 2 des sites de la PM du secteur PMSL (sud du Labrador), également dominée par le pollen d'*A. crispa*.

La même série de ZAP est apparente à travers les sites des 3 secteurs de la Gaspésie, et la durée des ZAP 4 à 7 est assez comparable. Le pollen de *Betula* domine les assemblages des 4 dernières, et sa surabondance réduit la qualité de l'enregistrement des autres taxons; c'est pourquoi les frontières des ZAP 4 à 7 ne sont pas toujours nettes. Ceci peut expliquer leur asynchronisme d'un site et d'un secteur à l'autre. Dans un tel cas, nous avons pris en considération le groupement proposé par le dendrogramme pour délimiter objectivement les frontières des ZAP.

### 3.3.2 Provinces polliniques et phases de l'histoire postglaciaire de la végétation

L'étude de la répartition spatiotemporelle des ZAP dans les 8 secteurs (section 3.3.1) a permis de circonscrire 8 provinces polliniques postglaciaires pour l'est du Québec et du Labrador méridional (figure 9). Ces provinces, décrites au tableau 4, sont à la base de l'histoire postglaciaire de la végétation présentée dans cette section.

Certaines provinces polliniques sont communes à l'ensemble des sites du territoire alors que d'autres caractérisent un secteur en particulier. Pour les sites des secteurs des pessières occidentales de l'ouest du Labrador (PLOL) et de la Côte-Nord (PMCN), qui ont été déglacés tardivement (après env. 8 000 ans AA; figure 3), seules 4 provinces polliniques ont été reconnues. Pour les sites du secteur des pessières orientales dans le sud du Labrador (PMSL), libérés des glaces assez tôt, vers 13 000–11 000 ans AA, 5 provinces polliniques ont été observées. Ailleurs, parmi les sites des secteurs des sapinières occidentales de Charlevoix/Laurentides (SBRN) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS) de même que ceux des secteurs des sapinières orientales du plateau de la Gaspésie (SBCG), de la haute Gaspésie (SJNG) et de la baie des Chaleurs (SJSG), tous déglacés tôt (avant env. 11 000 ans AA), on compte plutôt 7 provinces polliniques. L'âge des provinces livré dans le texte a été arrondi aux 500 ans près.

L'assemblage de la première province pollinique traduit bien la phase non arboréenne de la végétation (1a) et de l'immigration des espèces ligneuses (1b) à la suite du retrait de l'inlandsis. Au début, le pollen des herbes, mais aussi celui des conifères (*Pinus banksiana*, *Picea mariana*), de *Betula* et de *Salix* était abondant. L'assemblage de la 2<sup>e</sup> province pollinique, riche en *Betula*, *P. mariana* et *Populus*, témoigne du début de l'afforestation, alors que celui de la 3<sup>e</sup> province, dominé par le pollen d'*Alnus crispa*, marque sa fin. C'est à l'époque représentée par la 3<sup>e</sup> province pollinique que le couvert végétal s'est densifié. La 4<sup>e</sup> province, observée uniquement dans les sites du sud du Labrador (secteur de la PMSL), rend compte de la phase forestière qui commençait dans ce secteur. Dans les autres secteurs, c'est plutôt l'assemblage de la 5<sup>e</sup> province, riche en pollen d'*Abies balsamea* et de *Betula*, qui indique le début (ou la première période) de la phase forestière. La 6<sup>e</sup> province pollinique, riche en *Betula* et *Pinus strobus* et observée uniquement dans les sites des secteurs des sapinières (SBRN, SJRS, SBCG, SJNG, SJSG), désigne une autre période de la phase forestière. Quant à la 7<sup>e</sup> province, elle est dominée par le pollen de *Betula* et caractérise la période suivante, mais elle n'est pas remarquée dans le secteur du sud du Labrador (PMSL). Sur le territoire occupé par les sapinières actuelles (SBb et SBj) de l'est du Québec, la densité du couvert forestier était maximale au cours de cette période. Finalement, la 8<sup>e</sup> province pollinique, manifeste dans tous les secteurs, mène à la période contemporaine.

À l'échelle des secteurs de la PM (PMCN), de la SBb (SBRN et SBCG) et de la SBj (SJRS, SJNG

**Tableau 4.** Description des 8 provinces polliniques de l'est du Québec et du Labrador méridional. La chronologie des zones d'assemblage pollinique (ZAP) régionales établie pour les sites de l'ouest et du sud du Labrador (respectivement les secteurs de la PLOL et de la PMSL) n'a pas été prise en compte pour le calcul de l'âge moyen des provinces polliniques et des 3 phases de la végétation. Dans le tableau, les couleurs en marge sont les mêmes que celles utilisées à la figure 9 et au tableau 3. Comme pour la description des ZAP des 8 secteurs qui est livrée au tableau 3, celle des provinces polliniques se lit de la base au sommet.

Province pollinique	Âge (années AA)	Taxons clés	Description
<b>Phase forestière (env. 9 000 ans AA à aujourd'hui)</b>			
8 <sup>e</sup>	env. 4 000 à 0	<i>Picea mariana</i> <i>Abies balsamea</i>	<p>La 8<sup>e</sup> province pollinique caractérise bien la signature pollinique de la végétation actuelle. Plus particulièrement, elle marque le moment de l'instauration des pessières (PL et PM) et des sapinières (SBb et SBj) présentes aujourd'hui dans l'est du Québec. Cette province est observée à travers les 8 secteurs. Son début est plus tôt dans les secteurs de la PM de la Côte-Nord (PMCN), de la PM du sud du Labrador (PMSL) et de la SBb de Charlevoix/Laurentides (SBRN) (env. 5 000 ans AA) que dans les secteurs de la SBj du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS) et dans ceux de la SBb et de la SBj en Gaspésie (SBCG, SJNG, SJSG : env. 3 500 ans AA). Pour l'ensemble du territoire, le début de la province est centré sur 4 000 ans AA.</p> <p>Dans l'ensemble, l'abondance du pollen de <i>Picea mariana</i> augmente alors que celle de <i>Betula</i> diminue. Dans les sites de sapinières, on observe une augmentation du pollen d'<i>Abies balsamea</i> et de <i>Fagus grandifolia</i>. Dans le secteur de la PMSL, le pollen de <i>Larix laricina</i> est plus abondant. Le taux d'accumulation pollinique (TAP) des sédiments est plus faible que celui de la province précédente et suggère une ouverture du couvert forestier sur l'ensemble du territoire. Au Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS) et en haute Gaspésie (secteur de la SJNG), l'augmentation de l'abondance exprimée en pourcentages du pollen d'<i>Alnus crispa</i> dans les assemblages de l'époque témoigne également de cette ouverture du couvert forestier. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 8<sup>e</sup> province et ceux actuels est très faible (<math>SCD_{max} : 0,04</math> à <math>0,13</math>; tableau 3).</p>
7 <sup>e</sup>	env. 6 000 à 4 000	<i>Betula</i>	<p>La 7<sup>e</sup> province pollinique est absente du sud du Labrador (secteur de la PMSL). Ailleurs, son début n'est pas clairement illustré dans les diagrammes polliniques. Pour les sites des secteurs de la PL de l'ouest du Labrador (PLOL) et de la PM de la Côte-Nord (PMCN), cette province pourrait être regroupée avec la dernière et plus récente, c.-à-d. à la huitième province. Pour les sites des secteurs des sapinières modernes, les assemblages sont plutôt en continuité avec ceux de la province précédente riche en <i>Pinus strobus</i>. Ceci explique pourquoi, dans la littérature, cette ZAP régionale dominée par le pollen de <i>Betula</i> est fréquemment groupée à la 6<sup>e</sup> province pollinique. À travers les sites des sapinières modernes, son début est plus tardif d'environ 500 ans sur le plateau de la Gaspésie (secteur de la SBCG) et en haute Gaspésie (secteur de la SJNG).</p> <p>Par rapport à l'assemblage de la province précédente, le pollen de <i>Betula</i> est aussi abondant, alors que celui de <i>P. strobus</i> l'est de moins en moins. Dans l'ensemble, le TAP est maximal à cette époque. Il y a environ 6 000 ans, le couvert forestier dans l'est du Québec était probablement plus dense qu'aujourd'hui. La dissimilarité entre les assemblages polliniques et ceux actuels est faible (<math>SCD_{max} &lt; 0,13</math>; tableau 3). Dans les secteurs de la PLOL et de la PMCN, c'est à cette époque que les analogues en provenance de la forêt tempérée mixte sont les plus nombreux (env. 30 %; supplément 3 [disponible à part]).</p>
6 <sup>e</sup>	env. 8 000 à 6 000	<i>Betula</i> <i>Pinus strobus</i>	<p>La 6<sup>e</sup> province pollinique est observée uniquement sur le territoire des sapinières. Elle s'étend sur moins de 2 000 ans.</p> <p>Ce sont les grains de <i>Betula</i> et de <i>Pinus strobus</i> qui caractérisent le mieux la 6<sup>e</sup> province pollinique. L'augmentation du pollen de <i>P. strobus</i> vers 8 000 – 7 500 ans AA se manifeste particulièrement à travers les sites du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS) et de la baie des Chaleurs en Gaspésie (secteur de la SJSG). Le TAP est comparable ou légèrement plus élevé que celui de la 5<sup>e</sup> province pollinique. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 6<sup>e</sup> province et ceux actuels est faible (<math>SCD_{max} &lt; 0,15</math>; tableau 3).</p>

Tableau 4. (suite)

Province pollinique	Âge (années AA)	Taxons clés	Description
5 <sup>e</sup>	env. 9 000 à 8 000	<i>Abies balsamea</i> <i>Betula</i>	<p>La 5<sup>e</sup> province pollinique est observée à travers les 8 secteurs. Elle marque le début de la phase forestière et la densification du couvert végétal du territoire. Son début est asynchrone sur le territoire, mais l'âge de sa fin est assez similaire d'un endroit à l'autre, notamment à travers les sites des sapinières. Pour ceux des pessières de la Côte-Nord (secteur de la PMCN) et du sud du Labrador (secteur de la PMSL), le début et la fin sont plus tardifs (env. 8 000 à 6 500 ans AA).</p> <p>Ce sont les grains d'<i>Abies balsamea</i> et de <i>Betula</i> qui caractérisent le mieux la 5<sup>e</sup> province pollinique. Pour certains secteurs (PMSL, PMCN, SBCG, SJNG), une augmentation abrupte du pollen d'<i>A. balsamea</i> marque bien le début de la province. Dans d'autres secteurs (SBRN, SJRS, SJSJG), c'est plutôt l'augmentation du pollen de <i>Betula</i> qui souligne son début. Dans les 3 secteurs des pessières, l'abondance du pollen de <i>Picea mariana</i> augmente. Le TAP augmente graduellement. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 5<sup>e</sup> province et ceux actuels est faible (<math>SCD_{max} &lt; 0,15</math>; tableau 3).</p>
4 <sup>e</sup>	env. 8 500 à 8 000	<i>Picea glauca</i> <i>Alnus crispa</i>	<p>La 4<sup>e</sup> province pollinique est unique aux sites du sud du Labrador (secteur de la PMSL). Elle témoigne du début de la phase forestière dans cette région et ne s'étend que sur 500 ans.</p> <p>Son début est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage du pollen de <i>Picea</i> dans les assemblages, tandis que celui de <i>Betula</i> diminue. Il s'agirait de grains de <i>Picea glauca</i>. Le pollen d'<i>Alnus crispa</i> est légèrement moins abondant qu'au cours du millénaire précédent (de 9 500 à 8 500 ans AA). Quant au pollen d'<i>A. balsamea</i>, il est présent (&lt; 5 %). Une augmentation abrupte du TAP suggère une densification du couvert végétal. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 4<sup>e</sup> province et ceux actuels est faible (PMSL, <math>SCD_{max} : 0,11</math>; tableau 3c), ce qui traduit des conditions de représentation pollinique qui existent toujours aujourd'hui dans l'est de l'Amérique du Nord.</p>
<b>Phase d'afforestation (env. 11 000 à 9 000 ans AA)</b>			
3 <sup>e</sup>	env. 10 000 à 9 000	<i>Alnus crispa</i> <i>Betula</i> <i>Populus</i>	<p>La 3<sup>e</sup> province pollinique est observée à travers les 8 secteurs. Elle marque l'afforestation du territoire des pessières actuelles et la fin de l'immigration des arbres constatée dans les sapinières. Pour l'ensemble du territoire, sa fin est centrée sur env. 9 000 ans AA, mais elle est plus tardive (vers 8 500 ans AA) dans les 3 secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (PMCN, PMSL, SJNG).</p> <p>Ce sont les grains d'<i>Alnus crispa</i>, de <i>Betula</i> et de <i>Populus</i> qui caractérisent le mieux cette province pollinique. L'abondance du pollen d'<i>Alnus crispa</i> est maximale (&gt; 20 %) et témoigne de l'ouverture du couvert végétal. Pour les sites du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS) et de la Gaspésie (secteurs de la SBCG, de la SJNG et de la SJSJG), l'augmentation abrupte du pourcentage d'<i>A. crispa</i> est concomitante à une chute du pourcentage de <i>Picea mariana</i>, et parfois de <i>Betula</i>. L'abondance des herbes est négligeable (<math>\pm 2</math> %) dans les sédiments. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 3<sup>e</sup> province et ceux actuels est moindre que celle de la précédente : à l'exception du secteur de la SJNG (<math>SCD_{max} : 0,28</math>), la <math>SCD_{max}</math> moyenne est de 0,15 (tableau 3).</p>
2 <sup>e</sup>	env. 11 000 à 10 000	<i>Picea mariana</i> <i>Betula</i> <i>Populus</i> <i>Juniperus</i>	<p>La 2<sup>e</sup> province pollinique témoigne du début de l'afforestation au sein du territoire des sapinières. Son début est asynchrone à travers le territoire et sa chronologie, approximative. L'âge de sa fin est toutefois plus précis et plus synchrone, notamment à travers les sites d'un même secteur. Comme pour la première province, sa reconnaissance dans les assemblages est en lien avec l'âge de la déglaciation des sites. Bien que les sites du sud du Labrador soient déglacés à cette époque, cette province n'est pas répertoriée dans les sédiments. Dans les séquences lacustres des sites des sapinières, elle est marquée par le début de la sédimentation organique et par un contenu en grains de pollen plus abondant. La concentration pollinique des sédiments augmente.</p> <p>Ce sont les grains de <i>Picea mariana</i>, de <i>Populus</i>, de <i>Juniperus</i> et de <i>Betula</i> qui caractérisent le mieux la 2<sup>e</sup> province pollinique. L'abondance des herbes (&lt; 10 %) et du pollen de <i>Salix</i> chute et un pic d'abondance de <i>Picea mariana</i> est observé vers 10 000 ans AA. La dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 2<sup>e</sup> province et ceux qui sont actuels est grande, tout particulièrement dans les secteurs de la SBRN (<math>SCD_{max} : 0,28</math>; tableau 3d) et de la SJRS (<math>SCD_{max} : 0,31</math>; tableau 3e), en raison du pourcentage élevé de pollen de <i>Populus</i> (&gt; 10 %) (figures 8d et 8e).</p>

**Tableau 4.** (suite et fin)

Province pollinique	Âge (années AA)	Taxons clés	Description
<b>Phase non arboréenne et phase d'immigration des espèces ligneuses (antérieure à 11 000 ans AA)</b>			
1 <sup>re</sup>	antérieur à env. 11 000	Herbes <i>Betula</i> <i>Salix</i> <i>Pinus banksiana</i>	<p>La 1<sup>re</sup> province pollinique est la plus ancienne. Elle caractérise le début de la période postglaciaire. À cette époque, l'inlandsis occupait toujours une bonne partie du territoire québécois au-delà de la latitude 50° N. Parmi les 8 secteurs, seuls ceux libres de glace vers 12 000–11 000 ans AA montrent l'enregistrement de cette province pollinique dans leurs sédiments. Il s'agit essentiellement des sites retenus sur le territoire des sapinières actuelles de l'est du Québec (secteurs de la SBRN, de la SJRS, de la SBCG, de la SJNG et de la SJSG) et de la pessière du sud du Labrador (secteur de la PMSL). Dans les séquences lacustres étudiées, le sédiment de cette époque est inorganique, et son contenu en grains de pollen est faible. La chronologie de cette province pollinique est très approximative. Son début est en lien avec l'âge de la déglaciation des sites, et sa fin est centrée sur env. 11 000 AA pour l'ensemble des sites du territoire. Les assemblages observés ne couvrent donc pas tous la même époque. Ceci doit être pris en compte pour reconstituer la végétation du début de la déglaciation.</p> <p>Ce sont les herbes et les grains de pollen de <i>Betula</i>, de <i>Salix</i> et de <i>Pinus banksiana</i> qui caractérisent le mieux l'assemblage de la première province pollinique. Le pourcentage d'herbes est maximal (&gt; 20 %). Pour quelques secteurs (PMSL, SBCG, SJNG), cette province peut être divisée en deux. Les assemblages les plus anciens (1a) sont riches en herbes, souvent en espèces arctiques alpines caractéristiques de la toundra, et en pollen de <i>P. banksiana</i> et de <i>Picea mariana</i>. Les subséquents (1b), plus jeunes, sont riches en pollen de <i>Betula</i> et de <i>Salix</i>. La grande dissimilarité entre les assemblages polliniques de la 1<sup>re</sup> province (1a et 1b) et ceux qui sont actuels (<math>SCD_{max} &gt; 0,20</math>; tableau 3) traduit des conditions de représentation pollinique qui n'existent plus aujourd'hui dans l'est de l'Amérique du Nord, notamment en raison de la présence des glaces à cette époque sur une bonne partie du territoire.</p>

et SJSG) de l'est du Québec (donc en excluant les secteurs de la PLOL et de la PMSL, au Labrador), et à l'exception de la première (antérieure à env. 11 000 ans AA) et de la 4<sup>e</sup> province pollinique (*Picea glauca* – *Alnus crispa*, exclusive au secteur de la PMSL), la durée des provinces augmente graduellement de la plus ancienne (2<sup>e</sup> : 1 000 ans) à la plus récente (8<sup>e</sup> : 4 000 ans) (tableau 4). Leur durée moyenne est d'environ 2 000 ans.

Dans les prochaines sous-sections, nous décrivons l'histoire postglaciaire de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional selon 3 grandes phases : la phase non arboréenne, qui peut aussi comprendre l'immigration des espèces ligneuses, la phase d'afforestation, qui marque le développement de leurs populations, et la phase forestière, qui en représente l'expression maximale. Cette dernière est subdivisée en 4 périodes pour les sites des secteurs des sapinières et en 3 périodes pour les sites des secteurs des pessières. Les végétations reconstituées sont livrées à la figure 10, et les chronologies des phases de leur histoire sont comparées à la figure 11.

### 3.3.2.1 Phase non arboréenne et d'immigration des espèces ligneuses (antérieure à env. 11 000 ans AA)

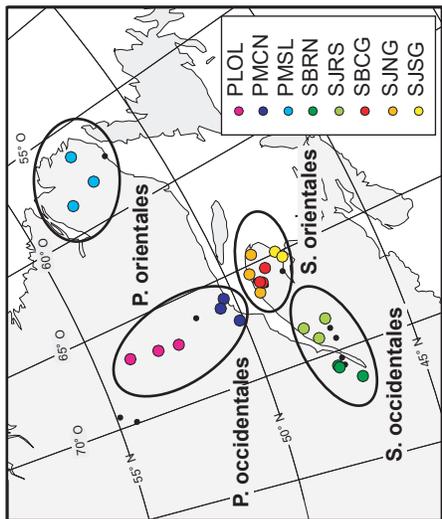
Le sédiment de cette époque est typiquement inorganique, et son contenu en pollen est faible. Le début de la phase non arboréenne et de l'immigration

des plantes est lié à l'âge de la déglaciation des sites, et sa fin est centrée sur 11 000 ans AA pour l'ensemble du territoire (figure 11). À cette époque, l'inlandsis était toujours présent dans les secteurs de la PLOL et la PMCN, des lambeaux du Glacier gaspésien persistaient dans le centre de la Gaspésie (SBCG), et la mer de Goldthwait occupait l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (figure 3).

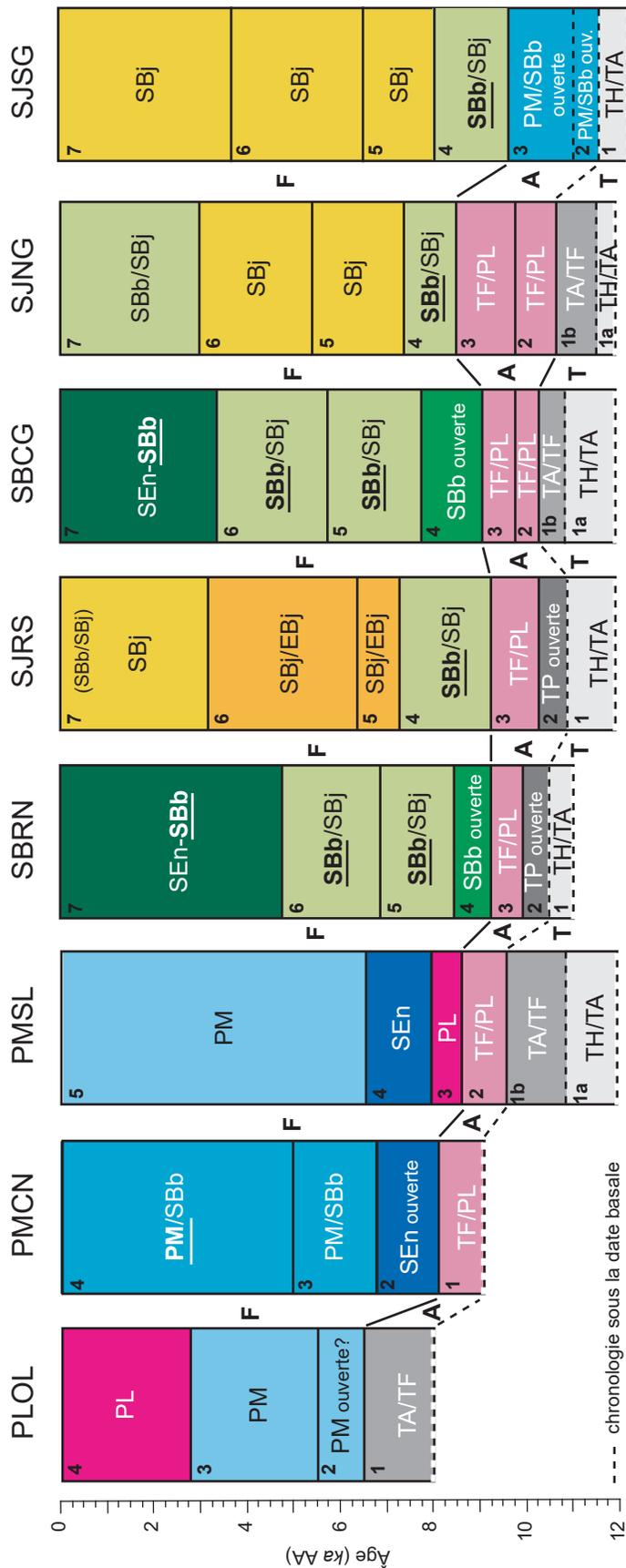
La « province pollinique à herbes – *Betula* – *Salix* – *Pinus banksiana* » caractérise le début de la période postglaciaire. Les assemblages polliniques les plus anciens (1a) traduisent bien la phase non arboréenne de la végétation à la suite du retrait de l'inlandsis. Pour leur part, les assemblages sus-jacents (1b) reflètent l'immigration des espèces ligneuses.

Sur le territoire des sapinières actuelles de l'est du Québec et des pessières du sud du Labrador, le couvert végétal de l'époque (avant env. 11 000 ans AA) était clairsemé ( $TAP < 1\,000$  grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>, annexe 10). La proportion des grains de pollen de conifères comme le pin gris et l'épinette noire était importante dans les assemblages les plus anciens, mais ils provenaient essentiellement de populations lointaines. À quelques sites (MARC, MORO et FOURX), les assemblages basaux dans lesquels le pourcentage du pollen de conifères domine celui des herbes témoignent d'un désert périglaciaire, et la CP y est minimale (tableau 3e). Le pollen de pin

Végétation reconstituée (assemblage pollinique)



- Toundra herbacée/arbustive (TH/TA) (herbes – *Betula* – *Salix*) : *Picea* < 10-15 %
- Toundra arbustive/forestière (TA/TF) (*Betula* – herbes – *Alnus* c.) : *Picea* < 10-15 %
- Tremblaie-parc (TP) (*Betula* – *Populus* – herbes – *Juniperus*) : *Picea* < 10-15 %
- Toundra forestière/Pessière à lichens (TF/PL) (*Alnus* c./*Betula* – *Picea* – *Populus*) : *Picea* 15-20 %
- Pessière à lichens (PL) (*Picea* – *Alnus* c./*Betula*) : *Picea* 40-50 %
- Pessière à mousses (PM) (*Picea* – *Betula*) : *Picea* 60-80 %
- Pessière à mousses/Sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) (*Picea/Betula* – *Alnus* c.) : *Picea* 30-40 %
- Sapinière à épinette noire (SEn) (*Picea* – *Betula* – *Abies*) : *Picea* > 20 %
- Sapinière à épinette noire/S. à bouleau blanc (SEn/SBb) (*Betula* – *Picea* – *Abies*) : *Picea* 20 %
- Sapinière à bouleau blanc (SBb) (*Betula* – *Picea* – *Abies*) : *Picea* 10-15 %
- Sapinière à bouleau blanc/S. à bouleau jaune (SBb/SBj) (*Betula* – *Pinus/Picea* – *Abies*) : *Picea* 10 %
- Sapinière à bouleau jaune (SBj) (*Betula* – *Pinus*) : *Betula* >> *Pinus* ; *Picea* < 10 %
- Sapinière à bouleau jaune/Érablière à bouleau jaune (SBj/EBj) (*Betula* – *Pinus*) : *Betula* > *Pinus* ; *Picea* < 5 %



--- chronologie sous la date basale



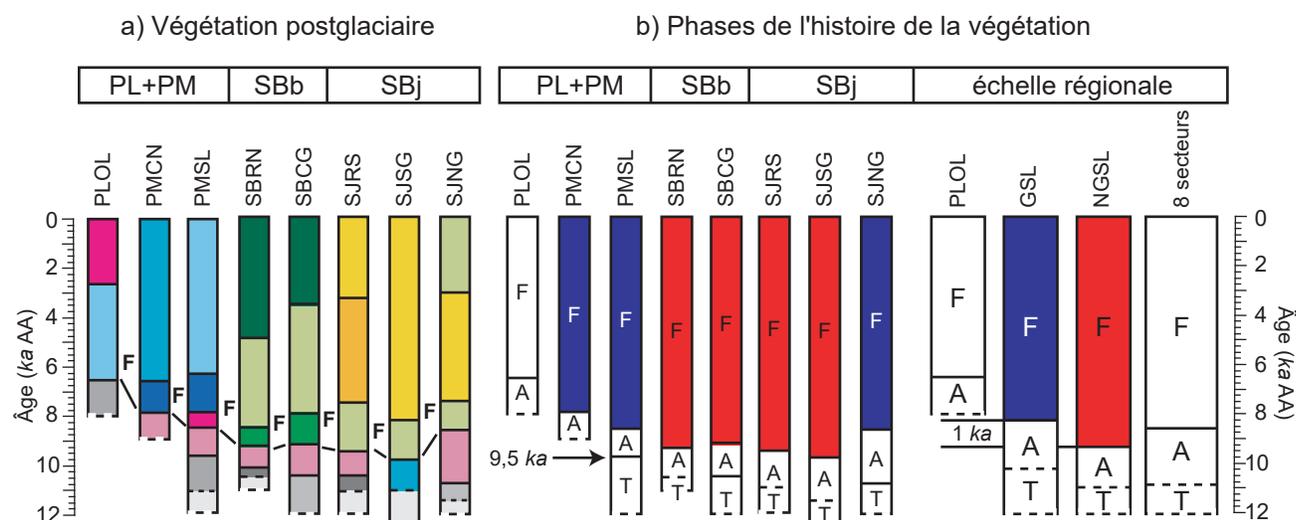
← – **Figure 10. (à la page 60)** Reconstitution de la végétation postglaciaire des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional à l'époque des zones d'assemblage pollinique (ZAP). Sur la carte, les sites des 8 secteurs sont identifiés par des couleurs différentes. La description de l'assemblage pollinique des végétations reconstituées est livrée sommairement dans la légende ci-contre et en détail à l'annexe 7. Dans les histogrammes, lorsque deux végétations sont jumelées, par exemple TF/PL, le nom de celle ayant prévalu est en gras et souligné. Les trois grandes phases de l'histoire de la végétation de l'est du Québec (phase non arboréenne ou d'immigration des espèces ligneuses [T], phase d'afforestation [A], phase forestière [F]) sont indiquées, tout comme la chronologie des provinces polliniques postglaciaires. La chronologie de la phase T des espèces ligneuses (antérieure à env. 10 500 – 11 000 ans AA) est approximative, car elle a peu (ou pas) de contrôle chronologique (dates au radiocarbone).

gris et d'épinette noire présent dans les sédiments provient de sources lointaines, peut-être d'aussi loin que la Nouvelle-Angleterre. À cette époque, probablement avant 13 000 ans AA, quelques herbes et arbustes ligneux nains épars, dont plusieurs sont d'affinité arctique-alpine, devaient coloniser les sols à proximité du fleuve Saint-Laurent, notamment dans les secteurs de Charlevoix/Laurentides et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata. Par la suite, vers 12 000–11 500 ans AA, une végétation de transition TH/TA occupait sans doute le territoire de ces 2 secteurs (figure 10). Les herbes étaient d'abord abondantes et diversifiées, puis les saules (nains ou prostrés) se sont implantés. Sensiblement au même moment, une végétation comparable (TH/TA) était présente en Gaspésie et dans le secteur sud

du Labrador. Vers 11 500 ans AA, on trouvait une végétation de transition TA/TF en haute Gaspésie, sur son plateau et dans le sud du Labrador. Les bouleaux arbustifs s'étaient implantés et ont abondé dans le secteur sud du Labrador jusque vers 9 500 ans AA. Les aulnes crispés étaient sans doute présents localement, eux aussi.

### 3.3.2.2 Phase d'afforestation (env. 11 000–9 000 ans AA)

La phase d'afforestation est marquée par le début de la sédimentation organique, asynchrone à travers le territoire. À cette époque, l'inlandsis était toujours présent dans le secteur de la PLOL. Les sites du secteur de la PMCN étaient déglacés, mais les plus côtiers (LD et MATAMEK) étaient alors



**Figure 11.** Comparaison de la végétation postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional et de la chronologie des 3 grandes phases de son histoire, à l'échelle du territoire d'étude et par secteur. En (a), la végétation postglaciaire est résumée à l'échelle des 8 secteurs; la légende des végétations reconstituées est donnée à la figure 10. En (b), la chronologie des trois grandes phases de l'histoire de la végétation postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional (phase non arboréenne ou d'immigration des espèces ligneuses [T], phase d'afforestation [A], phase forestière [F]) est résumée à l'échelle des 8 secteurs, puis à différentes échelles régionales : 1) celle des sites du secteur de la pessière à lichens de l'ouest du Labrador (PLOL), en déglaciation tardive; 2) celle des sites bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL : secteurs de la PMCN, de la PMSL et de la SJNG), déglacés entre env. 13 500 et 10 000 ans AA; 3) celle des sites, en amont de l'estuaire et plus à l'intérieur des terres (région NGSL : secteurs de la SBRN, de la SBCG, de la SJRS et de la SJSJ), déglacés avant 12 000 ans AA; et 4) celle de l'ensemble des sites des 8 secteurs. En (b), les histogrammes en bleu représentent la phase forestière des sites dans la région GSL, et ceux en rouge, la phase forestière des sites dans la région NGSL.

submergés par la mer de Goldthwait. L'afforestation du secteur de la PMCN a pris fin seulement vers 8000 ans AA, alors que celle du secteur de la PLOL s'est terminée encore plus tardivement, vers 6500 ans AA. À l'échelle des 6 autres secteurs, la fin de l'afforestation est centrée sur environ 9000 ans AA (figure 11b).

Un écart de plus de 1000 ans sépare le début de l'afforestation du territoire occupé par les sapinières actuelles de l'est du Québec (vers 11000 ans AA) et celui des pessières du sud du Labrador (secteur de la PMSL : vers 9500 ans AA, figure 11). L'âge de la déglaciation des sites du secteur de la PMSL n'explique pas à lui seul l'afforestation tardive du sud du Labrador, puisque les sites de ce secteur ont été déglacés sensiblement à la même époque que ceux des sapinières de l'est du Québec, il y a plus de 13000–11000 ans AA. Les conditions des eaux de surface dans la mer du Labrador à cette époque, notamment le couvert de glace saisonnière (Levac et de Vernal 1997), pourraient expliquer cet écart.

Dans les 5 secteurs des sapinières, la phase d'afforestation comprend 2 provinces polliniques caractérisées par deux pics successifs : d'abord celui du pourcentage de pollen de *Picea mariana*, puis celui d'*Alnus crispa*. Dans les 3 secteurs des pessières, seul le second pic est présent dans les diagrammes (figure 9).

La « province pollinique à *Picea mariana* — *Betula* — *Populus* — *Juniperus* » caractérise le début de l'afforestation des 5 secteurs des sapinières. Elle a duré environ 1000 ans (env. 11000–10000 ans AA) (figure 9).

Vers 11000 ans AA, le couvert végétal du territoire des sapinières s'est densifié : les TAP totaux sont passés de 2000 à 4000 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup> (annexe 10). Les épinettes noires, les peupliers faux-trembles et les bouleaux arbustifs étaient sans doute de plus en plus abondants dans le paysage. Dans les secteurs du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS) et de Charlevoix/Laurentides (SBRN), on observe la multiplication puis la dominance des peupliers dans le paysage (TAP de *Populus*; annexe 10), puis leur remplacement progressif par l'épinette noire (Richard *et al.* 1992, site FOURX). À cette époque, les bouleaux glanduleux étaient sans doute abondants localement.

Vers 11000 ans AA, une végétation de TP, sans analogue observé dans les paysages modernes de l'est de l'Amérique du Nord, caractérisait ces 2 secteurs (figure 10). À la même époque, une végétation de transition PM/SBb occupait le secteur de la baie des Chaleurs (SJSJG). Cette PM/SBb était toutefois

clairsemée. Vers 10500 ans AA, on trouvait une végétation de transition TF/PL en haute Gaspésie et sur son plateau (secteurs de la SJNG et de la SBCG). Les premières épinettes noires se sont implantées tôt, vers 11500 ans AA, dans la baie des Chaleurs (secteur SJSJG), et plus tardivement, un peu avant 10000 ans AA, dans les 4 autres secteurs des sapinières. Elles étaient probablement plus abondantes dans le secteur de la SJRS que dans celui de la SBRN. À la forêt Montmorency, légèrement au nord-est du site MARC (secteur de la SBRN : Charlevoix/Laurentides), les épinettes noires étaient présentes localement vers 10200 ans AA (Colpron-Tremblay et Lavoie 2010; site Laflamme).

La « province pollinique à *Alnus crispa* — *Betula* — *Populus* » est apparente dans les 8 secteurs. Elle caractérise l'afforestation dans les pessières ainsi que la fin de cette phase dans les sapinières. Elle dure environ 1000 ans (env. 10000–9000 ans AA; figure 9), mais elle se termine plus tardivement dans les 3 secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (PMSL, PMCN, SJNG : env. 8500 ans AA) et dans celui de l'ouest du Labrador (PLOL : env. 6500 ans AA).

La forte représentation du pollen d'*Alnus crispa* dans les assemblages postglaciaires traduit généralement l'ouverture plus ou moins grande du couvert forestier, et non un emplacement riverain plus ou moins dense et étendu de l'espèce, comme on peut le constater de nos jours dans la toundra forestière ou arbustive en zone subarctique canadienne (Ritchie 1974, Richard *et al.* 1992). Dans les sites des sapinières et des pessières à l'étude, le fort pourcentage d'*A. crispa* nous porte à croire que le couvert arborescent de l'époque était très éparé et que l'aulne faisait partie d'un paysage de TF ou de PL. Sur le territoire, le couvert végétal est resté clairsemé jusque vers 9500 ans AA dans les secteurs de la baie des Chaleurs, de Charlevoix/Laurentides et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata; jusque vers 9000 ans AA dans le secteur du plateau de la Gaspésie; et jusque vers 8500 ans AA dans les secteurs de la haute Gaspésie et du sud du Labrador. En Côte-Nord, un fort pourcentage d'*A. crispa* est observé jusque vers 8000 ans AA.

Vers 10000–9500 ans AA, les épinettes noires, les peupliers faux-trembles et les sapins baumiers étaient présents sur le territoire occupé par les sapinières actuelles de l'est du Québec. C'est aussi à cette époque que s'est implanté le bouleau blanc. Vers 9500 ans AA, les épinettes blanches étaient sans doute dominantes dans le secteur du sud du Labrador (Engstrom et Hansen 1985). Dans celui-ci, les bouleaux (arbustifs) et les aulnes crispés étaient

alors bien représentés dans le paysage de la TF/PL. Jusqu'à la fin de la phase d'afforestation, vers 8000 ans AA, les épinettes noires étaient très rares dans le secteur de la PMCN (Côte-Nord). Là et dans celui de l'ouest du Labrador (PLOL), les arbustes étaient plus abondants qu'aujourd'hui dans les paysages.

Vers 10000–9500 ans AA, une végétation de transition PM/SBb, comparable à celle de la province précédente, colonisait les environs du secteur de la baie des Chaleurs (SJSJG; figure 10). Jetté et Richard (1992) ont suggéré qu'une végétation de sapinière à épinette noire (SEn) était présente à cette époque en raison d'une assez faible représentation pollinique de *Betula arborescens*. Dans le secteur de l'ouest du Labrador (PLOL), déglacé tardivement, une végétation de transition TA/TF occupait le territoire lors de l'afforestation (avant 6500 ans AA). Ailleurs, dans les 6 autres secteurs, la végétation reconstituée pour l'époque en était une de transition TF/PL. Dans la forêt Montmorency, une végétation sans doute semblable à celle d'une PL (*open coniferous woodland*) était présente lors de l'afforestation du territoire, d'environ 10200 à 9500 ans AA (Colpron-Tremblay et Lavoie 2010).

### 3.3.2.3 Phase forestière (env. 9000 ans AA à aujourd'hui)

À l'échelle des 8 secteurs, le début de la phase proprement forestière est centré sur environ 9000 ans AA (figure 11). L'âge correspondant au début de la formation des forêts est toutefois asynchrone d'un secteur à l'autre. Dans les secteurs de la SBj de la baie de Chaleurs (SJSJG) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS) comme dans ceux de la SBb du plateau de la Gaspésie (SBCG) et de Charlevoix/Laurentides (SBRN), les premières forêts se sont probablement constituées vers 9350 ans AA. Dans les 3 secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent, c'est-à-dire ceux de la PM de la Côte-Nord (PMCN), de la SBj de la haute Gaspésie (SJNG) et de la PM du sud du Labrador (PMSL), elles se sont formées plus tard, vers 8250 ans AA. Plus au nord, dans le secteur de la PLOL, la phase forestière n'a débuté que vers 6500 ans AA.

L'âge de la déglaciation du territoire peut expliquer le début tardif des forêts dans le secteur de la PLOL. Toutefois, l'écart de 1000 ans observé entre la constitution des forêts dans les 3 secteurs de la région GSL bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (PMCN, PMSL et SJNG : vers 8250 ans AA) et celle dans les 4 secteurs de la région NGSL situés plus en amont et à l'intérieur des terres (SBRN, SJRS, SBCG et SJSJG :

vers 9350 ans AA) ne peut s'expliquer ni par l'âge de la déglaciation ni par celui de leur phase d'afforestation (figure 11). En effet, le début de la phase forestière a commencé 1000 ans plus tard dans les sites de la haute Gaspésie (secteur de la SJNG), en bordure du golfe du Saint-Laurent, que dans ceux du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS), plus en amont, et ce, malgré une déglaciation précoce (il y a plus de 12000 ans AA) et une afforestation relativement synchrone (env. 11000 ans AA). Un tel écart dans le début de la phase forestière est aussi observé de part et d'autre de la péninsule gaspésienne, entre la haute Gaspésie et la baie des Chaleurs (secteur de la SJSJG). À l'inverse, la phase forestière s'est installée de manière synchrone, vers 8250 ans AA, dans les sites de la SBj de la haute Gaspésie (secteur de la SJNG) et de la PM du sud du Labrador (secteur de la PMSL), dans la région du golfe du Saint-Laurent, et ce, malgré le début asynchrone de leur phase d'afforestation (SJNG : vers 10500 ans AA, PMSL : vers 9500 ans AA). Les conditions des eaux de surface dans le secteur du bas estuaire et du golfe du Saint-Laurent, notamment la présence de la mer de Goldthwait (Dionne 2001) et un climat froid induit par des apports d'eau de fonte provenant de la calotte glaciaire et du drainage du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway (Anderson et al. 2007, Lewis et al. 2012) pourraient expliquer cet écart de 1000 ans entre les secteurs de la région GSL (PMCN, PMSL et SJNG) et ceux de la région NGSL (SBRN, SJRS, SBCG et SJSJG).

La phase forestière comprend 5 provinces polliniques caractérisées par :

- l'abondance du pollen de *Picea glauca* dans les assemblages des sites du sud du Labrador (secteur de la PMSL);
- l'abondance du pollen d'*Abies balsamea* dans les assemblages de tous les sites des 8 secteurs jusque vers 8000 ans AA;
- une plus grande diversité (et abondance) de taxons thermophiles dans les assemblages des sites des sapinières jusque vers 4000 ans AA; puis une recrudescence de l'épinette noire et du sapin dans chacun des secteurs.

La « province pollinique à *Picea glauca* – *Alnus crispa* » caractérise le début de la phase forestière dans le secteur du sud du Labrador (PMSL). Elle a duré environ 500 ans (env. 8500–8000 ans AA; figure 9). Cette province est exclusive à ce secteur; elle entrecoupe la suivante (*Abies balsamea* – *Betula*) qui marque le début de la phase forestière dans les autres secteurs. D'après Engstrom et Hansen (1985), les grains de pollen de *Picea* proviennent d'épinettes blanches.

Vers 8500 ans AA, une végétation de PL colonisait le sud du Labrador (figure 10). Le couvert forestier était alors relativement dense. Les épinettes blanches étaient de plus en plus abondantes dans la végétation au détriment des bouleaux. Les sapins baumiers étaient sans doute dispersés dans les paysages du sud du Labrador au début de la phase forestière.

La « province pollinique à *Abies balsamea* – *Betula* », présente dans les 8 secteurs, caractérise le début de la phase forestière dans les secteurs de la SBb et de la SBj (SBRN, SBCG, SJRS, SJNG, et SJSJ) de l'est du Québec, de la PM de la Côte-Nord (PMCN) et de la PL de l'ouest du Labrador (PLOL, figure 9). Dans le secteur de la PM du sud du Labrador (PMSL), elle marque la seconde période de la phase forestière. Sauf dans les sites des secteurs de la PLOL, de la SJRS et de la SJSJ, le pourcentage d'*A. balsamea* excède 10 %. Le TAP d'*Abies* est maximal à cette époque dans les 5 secteurs des sapinières (annexe 10).

La chronologie de cette province est asynchrone à travers les 8 secteurs (figure 9). Dans celui de la PLOL, elle commence vers 6500 ans AA et se termine vers 5500 ans AA. Dans les 3 secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (PMCN, PMSL, SJNG : **région GSL**), le début est centré sur environ 8250 ans AA, et la fin, sur environ 7000 ans AA. Dans les 4 autres secteurs plus en amont et à l'intérieur des terres (SBRN, SJRS, SBCG, SJSJ : **région NGSL**), cette province dure environ 1500 ans, soit environ de 9350 à 8000 ans AA. À l'échelle de l'ensemble du territoire, la durée de la 5<sup>e</sup> province est d'environ 1000 ans (env. 9000–8000 ans AA). À l'échelle des secteurs des pessières et sapinières pris individuellement, elle est d'environ 1500 ans AA (env. 7500–6000 ans AA pour les 3 secteurs des pessières, et d'environ 9500–8000 ans AA pour les 5 secteurs des sapinières).

Vers 9000 ans AA, le couvert arborescent des sapinières s'est densifié (TAP total passant de 5000 à 10000 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>; annexe 10). L'abondance du pollen d'*Alnus crispa* indique que le couvert forestier était encore ouvert, du moins tout au début. À cette époque, les populations de peupliers faux-trembles déclinaient sur le territoire des sapinières. Dans les sapinières occidentales des secteurs de Charlevoix/Laurentides (secteur SBRN) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur SJRS), les épinettes noires, les bouleaux blancs et les sapins étaient présents : le sapin baumier dominait les peuplements, les populations d'épinettes noires étaient comparables à celles de l'époque précédente, alors

que celles de bouleaux étaient plus importantes. Quant aux 3 secteurs de la Gaspésie (sapinières orientales : SBCG, SJNG, SJSJ), on y observait la présence des bouleaux blancs et des sapins, et les sapins dominaient les peuplements. Les populations d'épinettes noires étaient moins abondantes que précédemment dans les secteurs de la haute Gaspésie (SJNG) et de la baie des Chaleurs (SJSJ). Dans le secteur du plateau de la Gaspésie (SBCG), les populations d'épinettes noires se comparaient à celles de l'époque précédente.

Vers 8000 ans AA, les épinettes blanches, puis les sapins baumiers, étaient sans doute de plus en plus rares dans la végétation du sud du Labrador, laissant place aux épinettes noires. Le remplacement de la végétation à cet endroit s'expliquerait par un changement dans la nature des sols, notamment par une plus forte concentration en matériaux humiques par rapport aux minéraux clastiques (Engstrom et Hansen 1985). Plus précisément, les régosols pauvres en matière organique de la toundra datant du début de la période postglaciaire (les *inceptisols* des auteurs précités) ont progressivement été remplacés par des sols boréaux riches en humus. Ce changement aurait favorisé l'épinette noire, une espèce mieux adaptée à ces conditions. À cette époque, le sapin baumier dominait les peuplements forestiers de la Côte-Nord. Son arrivée plus au nord, dans les forêts de l'ouest du Labrador, a été plus tardive (vers 6500 ans AA). L'épinette noire s'est implantée vers 7000 ans AA, dans le sud du Labrador et en Côte-Nord, et plus tardivement dans l'ouest du Labrador, vers 6000 ans AA. Vers 7000 ans AA, quelques pins blancs étaient présents localement sur l'île d'Anticosti, et probablement dans la région de Baie-Comeau (Lavoie et Fillion 2001, Sauvé 2016). Encore de nos jours, l'espèce est présente dans ces deux régions (Grondin *et al.* 2007), mais elle n'a sans doute jamais migré plus au nord-ouest, dans de la région de Sept-Îles (Mott 1976; site LD [secteur de la PMCN]).

Vers 9500 ans AA, une végétation de transition SBb/SBj colonisait les secteurs de la baie des Chaleurs et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (figure 10). La part de SBb dans la végétation était cependant plus importante. Vers 9000 ans AA, une végétation de SBb occupait les territoires de plus haute altitude, c'est-à-dire les secteurs de Charlevoix/Laurentides (SBRN) et du plateau de la Gaspésie (SBCG). Dans la forêt Montmorency, on trouvait aussi une végétation de SBb (Colpron-Tremblay et Lavoie 2010). Au site TRIANG, dans le secteur de la SBCG, Asnong et Richard (2003) ont suggéré qu'il s'agissait d'une végétation de sapinière à épinette noire (SEn). Vers 8500 ans AA,

une végétation de SBb/SBj avec une part plus importante de SBb, comparable à celle présente aujourd'hui dans les secteurs de la baie des Chaleurs et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, occupait la haute Gaspésie. C'est à cette époque que les premières forêts (PL) se sont implantées dans le secteur sud du Labrador (voir ci-dessus la province à « *Picea glauca* – *Alnus crispa* »). Vers 8 000 ans AA, une végétation de SEn colonisait les sols du sud du Labrador et de la Côte-Nord. Dans le secteur de l'ouest du Labrador, les assemblages du début de la phase forestière ont été interprétés comme une végétation de PM qui se serait constituée il y a environ 6 500 ans AA.

La « **province pollinique à *Betula* – *Pinus strobus*** » est observée dans les 5 secteurs des sapinières. Elle a duré à peu près 2 000 ans (env. 8 000–6 000 ans AA; figure 9). Elle représente la seconde période de la phase forestière. Le pollen de *Tsuga canadensis*, d'*Acer saccharum* et de *Fagus grandifolia* était plus abondant dans les sites des sapinières (annexe 3). D'après l'assemblage pollinique de cette province, la végétation était plus thermophile qu'actuellement. Vers 8 000 ans AA, la végétation et les espèces forestières sur le territoire des sapinières étaient aussi plus diversifiées qu'actuellement. Dans les 2 secteurs de la SBb situés à plus hautes altitudes (SBRN et SBCG), les pourcentages du pollen de *Pinus strobus* sont cependant trop faibles (env. 10–15 %) pour témoigner de la présence locale de l'espèce sur le territoire. Pour ces secteurs, cette province pourrait être combinée à la suivante; la « province à *Betula* ». Toutefois, comme pour les 3 secteurs de la SBj (SJRS, SJNG et SJSG), la représentation pollinique de *Pinus strobus* a augmenté dans les diagrammes des secteurs de la SBRN et de la SBCG vers 8 000 ans AA (figures 8d et 8f). Cette signature palynostratigraphique explique pourquoi nous avons reconnu cette province pollinique dans les 2 secteurs de la SBb à plus hautes altitudes, malgré l'absence probable du pin blanc dans la végétation correspondante.

Vers 8 000 ans AA, le couvert forestier du territoire occupé par les sapinières actuelles de l'est du Québec était légèrement plus dense que précédemment. Dans l'ensemble, les espèces boréales, comme l'épinette noire et le sapin, diminuent au profit de celles plus thermophiles, comme le pin blanc. Dans les secteurs de Charlevoix/Laurentides (SBRN) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS), les épinettes noires étaient plus rares et les sapins constituaient toujours l'essence dominante (voir la valeur du TAP d'*Abies* à l'annexe 10). L'érable à sucre, la pruche et les frênes étaient présents au Bas-Saint-Laurent/Témiscouata et à la

marge au sud du massif des Laurentides. En comparaison, les épinettes noires et les bouleaux étaient plus abondants qu'auparavant dans le secteur du plateau de la Gaspésie (SBCG), mais les sapins dominaient encore les forêts. Dans les secteurs de la haute Gaspésie (SJNG) et de la baie des Chaleurs (SJSG), des populations éparses de pins blancs se trouvaient sur le territoire, et les sapins étaient sans doute plus rares dans la végétation que les populations de bouleaux. Puisque le bouleau jaune est souvent associé au pin blanc dans la végétation de la forêt tempérée mixte québécoise, on peut penser qu'une partie des populations constituées de bouleaux blancs de l'époque précédente a pu avoir été remplacée par d'autres de bouleaux jaunes vers 8 000–7 500 ans AA.

Vers 8 000–7 500 ans AA, une végétation de transition SBb/SBj, avec une part plus importante de SBb, colonisait les 2 secteurs à plus haute altitude (Charlevoix/Laurentides et plateau de la Gaspésie; figure 10, secteurs SBRN et SBCG). Les bouleaux jaunes se sont alors implantés dans les secteurs côtiers de la Gaspésie (SJNG et SJSG) et dans celui du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS). En haute Gaspésie et dans la baie des Chaleurs, les assemblages laissent croire à une végétation de SBj. Dans le secteur du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, une végétation de transition SBj/EBj était présente, avec des populations locales de pins blancs.

La « **province pollinique à *Betula*** », notée dans 7 secteurs, a duré environ 2 000 ans (env. 6 000–4 000 ans AA; figure 9). Dans les secteurs de la PM de la Côte-Nord (PMCN), de la SBb de Charlevoix/Laurentides (SBRN), de la SBj du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS) et de la SBj de la baie des Chaleurs (SJSG), son début est centré sur environ 6 500 ans AA. Dans les secteurs de la SBb du plateau de la Gaspésie (SBCG) et de la haute Gaspésie (SJNG) de même que dans celui de la PL de l'ouest du Labrador (PLOL), elle s'est formée plus tard (env. 5 500 ans AA). Cette province n'est toutefois pas observée dans le secteur de la PM du sud du Labrador (PMSL). Dans les secteurs de la PMCN et de la PLOL, sa signature est décelée, mais de manière moins bien marquée qu'ailleurs. Dans les diagrammes des sites des 5 secteurs des sapinières, les assemblages sont en continuité avec ceux de la province précédente (*Betula* – *Pinus strobus*) et ils pourraient y être groupés. Le pollen de *P. strobus* y est toutefois moins abondant, alors que l'abondance de *Betula* est comparable ou est légèrement plus élevée. Le TAP total atteint son maximum à cette époque.

Vers 6000 ans AA, dans le secteur de la PL de l'ouest du Labrador (PLOL), celui de la PM de la Côte-Nord (PMCN) et les 5 secteurs des sapinières, le couvert forestier était probablement plus dense qu'aujourd'hui. Dans les 2 secteurs des pessières occidentales (PLOL et PMCN), les épinettes noires abondaient, et le sapin était présent. Dans les 2 secteurs de la SBb, situés à plus haute altitude (SBRN et SBCG), il y avait plus d'épinettes noires qu'à l'époque précédente, alors que les populations de sapins y étaient aussi (secteur de la SBRN) sinon plus abondantes (secteur de la SBCG). Dans les 3 secteurs des sapinières à bouleau jaune (SJRS, SJNG et SJSG), les bouleaux jaunes devenaient de plus en plus abondants alors que les populations de pins blancs déclinaient. Les érables à sucre étaient aussi abondants que précédemment, sinon plus.

Vers 6000 ans AA, la végétation était comparable, dans l'ensemble, à celle de la période précédente (figure 10). Dans le secteur de la PM de la Côte-Nord (PMCN), les assemblages laissent toutefois entendre un couvert végétal de transition PM/SBb. Auparavant dans ce secteur, c'est-à-dire vers 8000–6500 ans AA, c'était une végétation de sapinière à épinette noire (SEn) qui occupait les sols.

La « province pollinique à *Picea mariana* – *Abies balsamea* » (env. 4000 ans AA à aujourd'hui; figure 9) correspond bien à la signature pollinique de la végétation actuelle, qui est manifeste dans le diagramme de tous les sites. Son début est plus précoce dans le secteur de la PM du sud du Labrador (PMSL, env. 6500 ans AA) que dans celui de la PL de l'ouest du Labrador (PLOL, env. 2500 ans AA). Dans le secteur de la PMSL, la chronologie de cette province est plus ou moins précise parce que les 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> provinces n'ont pas été observées dans ce secteur. De plus, la date de 6500 ans AA marque la transition entre les assemblages polliniques riches en *Abies balsamea* et en *Betula* (5<sup>e</sup> province) et ceux riches en *Picea mariana* (figure 8c). Si nous excluons les 2 secteurs du Labrador (PMSL et PLOL), le début de la 8<sup>e</sup> et dernière province des sites dans les sous-domaines actuels de la PM, de la SBb et de la SBj de l'Est est centré sur environ 4000 ans AA. Cette province pollinique marque l'instauration des pessières (PL et PM) et des sapinières (SBb et SBj) présentes aujourd'hui dans l'est du Québec et le sud du Labrador. Dans l'ensemble, le TAP total est plus faible que celui de la province pollinique précédente.

À cette époque, les épinettes noires dominaient les forêts de la Côte-Nord et du sud du Labrador. Les sapins et les mélèzes étaient présents. Les épinettes étaient aussi plus abondantes dans les forêts

de l'ouest du Labrador où se trouvaient les pins gris et les mélèzes. Elles y étaient dominantes dans les forêts depuis environ 6500 ans AA, et depuis environ 5000 ans AA dans le secteur de la PLOL (figure 7).

Sur le territoire des sapinières actuelles, les épinettes noires étaient plus abondantes depuis environ 3500 ans AA dans les forêts de Charlevoix/Laurentides et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, et depuis environ 2500 ans AA dans celles de la haute Gaspésie et de son plateau. Dans les 5 secteurs des sapinières, les sapins étaient aussi ou plus abondants que précédemment, alors que les bouleaux l'étaient moins. Les pins blancs étaient rares dans les secteurs côtiers (SJNG et SJSG). L'abondance des hêtres s'était accrue, alors que les frênes, les pruches, et peut-être les érables à sucre, étaient moins répandus.

Une végétation de PM colonise le sud du Labrador depuis environ 6500 ans AA (figure 10). Le remplacement de la SEn (8000–6500 ans AA) par une PM s'expliquerait par une diminution progressive de la teneur en matières organiques décomposées des sols. Cette diminution aurait été induite par un refroidissement du climat, notamment après environ 4500 ans AA (4000 <sup>14</sup>C ans AA; Engstrom et Hansen 1985) et peut-être par une incidence accrue des feux de forêt (Payette 1992). La PM du sud du Labrador s'est constituée à la même époque que la PM/SBb de la Côte-Nord de la période précédente (6500–5000 ans AA). Depuis environ 4500 ans AA, la part de PM est plus importante dans la végétation de PM/SBb de la Côte-Nord. Les assemblages polliniques des 2500 dernières années des sites de l'ouest du Labrador peuvent être interprétés comme une végétation de PL.

Depuis environ 4500 ans AA (secteur de la SBRN) et 3500 ans AA (secteur de la SBCG), une végétation de transition SEn/SBb, avec une part plus importante de SBb, colonise les secteurs de haute altitude de Charlevoix/Laurentides et du plateau de la Gaspésie. Le TAP élevé de *Picea* et d'*Abies*, notamment en Gaspésie (annexe 10), appuie cette interprétation. Au site TRIANG, dans le secteur de la SBCG, Asnong et Richard (2003) ont interprété les assemblages de cette province pollinique comme une pessière noire à sapin.

Depuis environ 3500 ans AA, une végétation de transition SBb/SBj occupe les sols du territoire des sites en haute Gaspésie (secteur de la SJNG). Dans les secteurs de la baie de Chaleurs (SJSG) et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (SJRS), une végétation de SBj colonise le territoire. Vers 1000 ans AA, le

pourcentage de *Picea* a augmenté dans les assemblages des sites du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (voir la courbe de *Picea* pour des sites MORO et FOURX des sapinières occidentales à la figure 7). En même temps, celui d'*Acer saccharum* et d'autres essences thermophiles comme *Fraxinus* et *Quercus* a diminué, avec une importance croissante des bouleaux blancs (site MORO; Richard et Larouche 1994). Ceci indique un changement vers une végétation de transition SBb/SBj au cours du dernier millénaire. En haute Gaspésie, la diminution du TAP total vers le sommet des séquences, tout particulièrement depuis 1 000 ans AA, coïncide avec une plus grande représentation pollinique d'*Alnus crispa* dans les assemblages des sites.

### 3.4 Dynamique spatiotemporelle millénaire du climat et de la végétation du territoire

Ici, nous résumons l'évolution dans le temps des données climatiques et polliniques des 35 sites au cours des 10 000 dernières années. La reconstitution du climat est d'abord offerte à l'échelle du millénaire pour l'ensemble de l'est du Québec et du Labrador méridional (section 3.4.1), puis à l'échelle submillénaire (250 ans; section 3.4.2) pour les secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) et ceux plus en amont et à l'intérieur des terres (région NGSL). La reconstitution de la végétation à l'échelle du millénaire est présentée pour l'ensemble des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional (section 3.4.3), y compris ceux de la PL du centre-nord du Québec (PLCN; tableau 1). En définitive, ces résultats complètent ceux qui viennent d'être exprimés pour les 8 secteurs et permettent de préciser l'histoire spatiotemporelle de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional depuis la déglaciation, mais cette fois-ci en lien avec une reconstitution plus complète du climat.

#### 3.4.1 Histoire du climat millénaire

Le climat millénaire moyen pour l'ensemble du territoire à l'étude est livré à la figure 12, avec le TAP total moyen des sites par millénaire. Le TAP total est présenté tout d'abord pour l'ensemble des 25 sites pour lesquels cette valeur est disponible, puis séparément pour les sapinières occidentales (6 sites : MAIN, MADE, MARC, MORO, FOURX et BEAZ) et les sapinières orientales (7 sites : JARX, PERDU, BOUCHX, EBR, TRIANG, CARIB et ROBIN). Le TAP total moyen des sites augmente de 11 000 à 6 000 ans AA. Il atteint son maximum vers 7 000–6 000 ans AA, puis diminue jusqu'à nos jours. Le TAP total était maximal vers

6 000–5 000 ans AA dans les sapinières occidentales et vers 7 000–5 000 ans AA dans les sapinières orientales. C'est ce qui les distingue sur ce plan.

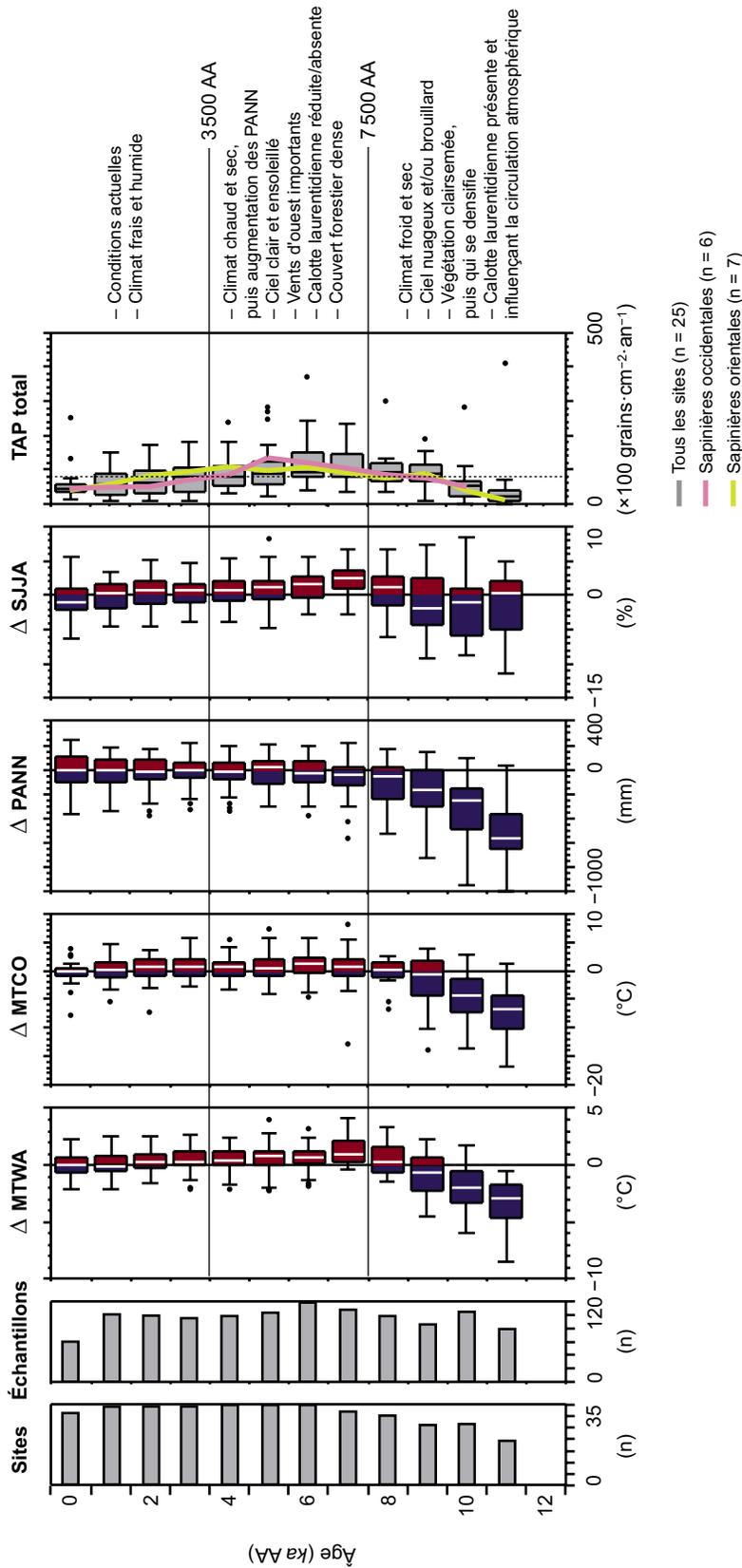
Le résultat de la reconstitution du climat postglaciaire des 35 sites met en évidence un réchauffement graduel de la température estivale et hivernale sur l'ensemble du territoire, suivi d'un refroidissement (figure 12). Le réchauffement du début de la période postglaciaire (11 000–7 000 ans AA) est de l'ordre de 4 °C pour la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) et de 8 °C pour la température moyenne du mois le plus froid (MTCO). Le refroidissement subséquent (de 7 000 ans AA à aujourd'hui) est de l'ordre de 1 °C pour la MTWA et de 1,5 °C pour la MTCO. Au Labrador (lat. 52–58° N.), la MTWA augmente d'environ 3 °C jusque vers 4 000 ans AA, puis diminue d'environ 1 °C de 4 000 ans AA à aujourd'hui (Viau et Gajewski 2009). Par contraste, la MTCO grimpe continuellement jusqu'à nos jours, pour un total de l'ordre de 7 °C (Viau et Gajewski 2009).

Les précipitations annuelles totales (PANN) ont augmenté, jusque vers 5 000 ans AA, puis sont demeurées relativement stables jusqu'à nos jours (figure 12). L'augmentation des PANN de 11 000 à 5 000 ans AA est de l'ordre de 500 mm. Au Labrador (52–58° N.) et pour la même période, elle est de l'ordre 400 mm·an<sup>-1</sup> (Viau et Gajewski 2009).

L'ensoleillement estival (SJJJA), quant à lui, augmente de l'ordre de 3 % jusque vers 7 000 ans AA, puis chute légèrement de 7 000 à 6 000 ans AA et continue de diminuer graduellement de 2 % jusqu'à aujourd'hui (figure 12).

À la lumière de ces résultats, nous divisons l'histoire du climat millénaire de l'est du Québec et du Labrador méridional en 3 périodes :

- 1- Avant 7 500 ans AA, la calotte glaciaire laurentidienne était toujours présente dans le centre-nord du Québec et dans l'ouest du Labrador. Aux endroits déglacés, le climat était plus froid qu'actuellement et les précipitations, beaucoup moins abondantes. De plus, le nombre d'heures d'ensoleillement était moindre qu'aujourd'hui.
- 2- De 7 500 à 3 500 ans AA, le climat était légèrement plus chaud qu'aujourd'hui. Les précipitations annuelles étaient un peu moins abondantes au départ, puis elles ont augmenté à un niveau comparable à celui d'aujourd'hui. Vers 7 000 ans AA, le ciel était légèrement plus clair et ensoleillé qu'aujourd'hui, alors que vers 3 500 ans AA, l'ensoleillement était



**Figure 12.** Évolution du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaire des sites de l'est du Québec et du Labrador. Les résultats de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA), de la température moyenne du mois le plus froid (MTCO), des précipitations annuelles totales (PANN) et de l'ensoleillement estival moyen (SJJA [juin, juillet et août]) sont présentés par des boîtes à moustaches (en anglais : *box-plot*) tous les 1 000 ans et sont exprimés en anomalie par rapport à la période actuelle ( $\Delta$ ). Les résultats sont basés sur les données des 35 sites (voir le supplément 2, disponible à part). Pour chaque millénaire, le nombre de sites et celui d'échantillons utilisés pour le calcul du climat moyen sont livrés. Le TAP total, ou l'influx pollinique, par millénaire, est également donné pour l'ensemble des sites (boîtes à moustaches) et individuellement pour les régions des sapinières occidentales et orientales (valeur moyenne). Le TAP total de tous les sites (boîtes à moustaches) est basé sur les résultats de 25 d'entre eux : tous ceux des sapinières en plus de 3 des sites des pessières (DEL1, DAU et MATAMEK). La ligne pointillée verticale correspond à la valeur moyenne du TAP total de tous les sites à l'échelle de l'époque postglacière (de 11 000 ans AA à aujourd'hui). La courbe du TAP total moyen des sapinières occidentales est basée sur les résultats de 6 sites (MAIN, MADE, MARC, MORO, FOURX et BEAZ) et celle des sapinières orientales, sur ceux de 7 sites (EBR, TRIANG, PERDU, JARX, BOUCHX, CARIB et ROBIN).

comparable à celui d'aujourd'hui ( $\pm 0,5\%$ ). La courbe du TAP total indique que la densité du couvert forestier a été maximale de 7 500 à 4 500 ans AA.

- 3- Depuis 3 500 ans AA, le climat est relativement stable et comparable à celui d'aujourd'hui. On note surtout une légère diminution de l'ensoleillement estival à l'échelle de l'est du Québec et du Labrador méridional (anomalie moyenne du SJA d'env.  $-1\%$ ). À l'échelle du territoire, le TAP total diminue depuis 1 500 ans AA; sa courbe concorde assez bien avec celle de l'ensoleillement estival.

### 3.4.2 Régionalisme du climat submillénaire

L'histoire submillénaire (avec un pas de 250 ans) du climat est présentée à la figure 13 pour la région englobant les secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) et pour celle englobant ceux plus en amont et à l'intérieur des terres (région NGSL : **non golfe** du Saint-Laurent). La région GSL inclut les sites des secteurs dans le sud du Labrador (PMSL), la Côte-Nord (PMCN) et la haute Gaspésie (SJNG), alors que la région NGSL comprend les autres sites. La valeur de la  $SCD_{max}$  des 2 régions est également résumée par millénaire sur la figure. Les courbes individuelles du climat des 20 sites sont disponibles à l'annexe 11.

Les résultats révèlent l'existence d'un contraste climatique très net entre les sites à proximité du golfe (région GSL) et ceux plus en amont (région NGSL), particulièrement avant 8 000 ans AA. Les résultats montrent également que des conditions comparables à celles d'aujourd'hui prévalaient vers 9 000 ans AA dans la région NGSL, mais qu'elles surviennent près de 1 000 ans plus tard, vers 8 000 ans AA, dans la région GSL (figure 13).

Le contraste climatique observé jusque vers 8 000 ans AA ressort particulièrement bien pour les courbes de la MTWA des sites en haute Gaspésie (secteur de la SJNG : région GSL) et de la baie des Chaleurs (secteur de la SJSG : région NGSL) (supplément 2, disponible à part). Aujourd'hui, le climat estival en haute Gaspésie est différent de celui à la baie des Chaleurs. Chaque printemps et au début de l'été, la côte nord de la Gaspésie (secteur de la SJNG) est balayée par les vents froids et humides en provenance du Labrador et de Terre-Neuve (Villeneuve 1959, p. 158). Ceux-ci engendrent des brouillards et des brumes qui retardent le réveil printanier de la végétation. De nos jours, ces vents ne dépassent pas le plateau de la Gaspésie (secteur de la SBCG) et n'atteignent pas la côte sud de la Gaspésie (secteur de la SJSG), plutôt exposée aux vents secs de l'ouest. Aujourd'hui,

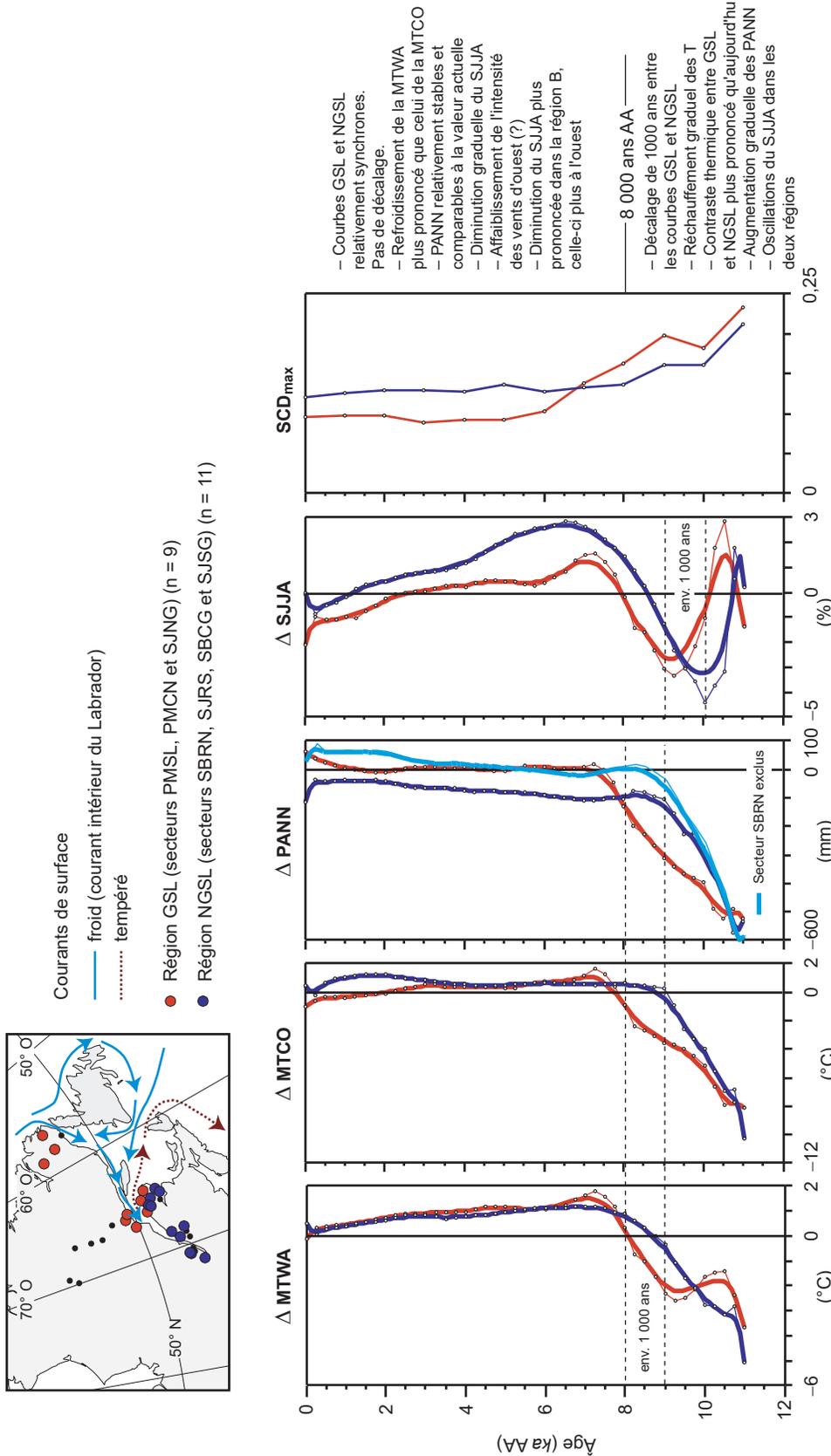
l'écart thermique en juillet entre les 2 secteurs est d'environ  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tableau 2). La reconstitution de la MTWA dans les secteurs de la SJNG et de la SJSG montre que cet écart existe probablement depuis environ 8 000 ans AA. Auparavant, notamment vers 9 000 ans AA, l'écart était beaucoup plus prononcé, soit d'environ  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . À cette époque, la MTWA était d'environ  $12\text{--}13\text{ }^{\circ}\text{C}$  en haute Gaspésie (secteur de la SJNG) et de  $16\text{--}17\text{ }^{\circ}\text{C}$  dans la baie des Chaleurs (secteur de la SJSG).

Le parallélisme des 4 courbes climatiques et la similitude des anomalies climatiques submillénaires de la température (MTWA et MTCO) pour les 2 régions depuis 8 000–7 500 ans AA sont révélateurs. En effet, en dépit du contraste palynostratigraphique observé entre les régions GSL et NGSL, notamment quant au pourcentage du pollen de *Betula*, de *Picea* et de *Pinus strobus* dans les assemblages polliniques (figure 8), le climat reconstitué est comparable. Cela démontre que le résultat du climat millénaire de l'ensemble du territoire à l'étude (figure 12) n'est pas biaisé par le climat d'une région en particulier. Il reflète sans aucun doute fidèlement le climat millénaire de l'est du Québec et du Labrador méridional. À noter qu'une telle similitude des anomalies climatiques depuis environ 9 000 ans AA a aussi été observée entre les régions de l'Abitibi et de la Sagamie dans l'ouest du Québec, et ce, malgré un contraste palynostratigraphique (Fréchette *et al.* 2018).

#### 3.4.2.1 Température estivale et hivernale

Dans la région NGSL, un réchauffement continu de la température estivale (MTWA) est observé de 11 000 à 7 000 ans AA, alors qu'une oscillation est décelée dans la région GSL (figure 13). Un pic de température y est en effet remarqué vers 10 000 ans AA, suivi d'un creux vers 9 000 ans AA. Le redoux vers 10 000 ans AA est associé à la province pollinique « *Picea mariana* – *Betula* » marquant le début de l'afforestation, alors que le refroidissement vers 9 000 ans AA l'est à la province « *Alnus crispa* – *Betula* » qui témoigne de la fin de l'afforestation. Un tel réchauffement momentané de la température estivale vers 10 000 ans AA, suivi d'un refroidissement, avait déjà été proposé par Richard et Larouche (1994) pour le site MORO (inclus dans le secteur de la SJRS) près de Rimouski, pour expliquer l'arrivée des premiers arbres et la régression subséquente de l'épinette noire au profit de l'aulne crispé. Nos résultats ont le mérite d'en préciser l'ampleur et l'étendue géographique.

Le réchauffement de la MTWA de 11 000 à 7 000 ans AA est de l'ordre de  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dans la région NGSL et de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dans la région GSL



**Figure 13.** Variabilité régionale du climat postglaciaire de l'est du Québec et du Labrador méridional par tranche de 250 ans de sédiment. La méthodologie employée pour l'interpolation des données climatiques des sites tous les 250 ans est décrite à la section 2.4.2. Les résultats de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA), de la température moyenne du mois le plus froid (MTCO), des précipitations annuelles totales (PANN) et de l'ensoleillement estival moyen (juin, juillet et août : SJJA) sont présentés séparément pour les sites de la région GSL et de la région NGSL. Les moyennes climatiques des deux régions sont exprimées en anomalie par rapport au climat de la période actuelle ( $\Delta$ ). Dans les graphiques, la ligne en trait épais est une courbe lissée à travers les points. Les sites de la région GSL (PETEL, MATAHEK, LD, HOPESIM, MORAIN, EAGLE, JARX, BOUCHX et PERDU) sont relativement proches du bas estuaire et du golfe de Saint-Laurent, alors que ceux de la région NGSL (MAIN, MADE, MARC, BEAZ, MORO, FOURX, ROBIN, CARIB, TRIANG, DOLB et EBR) sont situés plus en amont et à l'intérieur des terres. La courbe en bleu pâle dans le graphique des PANN représente la valeur moyenne calculée en excluant les sites à haute altitude du secteur de la SBRN. Les courbes individuelles des sites sont livrées à l'annexe 11. Les sites inclus dans chacune des régions sont illustrés sur la carte du haut. La dissimilarité maximale moyenne ( $SCD_{max}$ ), c'est-à-dire celle entre le 5e et dernier analogue moderne retenu pour la reconstitution climatique et l'assemblage pollinique des sites, est aussi fournie. Cette dernière valeur nous renseigne sur la fiabilité des reconstitutions climatiques. Le seuil d'acceptabilité pour la sélection d'un analogue a été fixé par le programme à 0,50. Les analogues retenus pour les reconstitutions climatiques ont, dans l'ensemble, une dissimilarité < 0,20 avec les assemblages polliniques postglaciaires des sites.

(figure 13). Dans les 2 régions, les températures estivales étaient maximales vers 7 500–7 000 ans AA. Le refroidissement subséquent est d'environ 1 à 1,5 °C. Quant à la température hivernale (MTCO), le réchauffement initial de 11 000 à 7 000 ans AA est de l'ordre de 8 à 10 °C pour les 2 régions. Depuis lors, la MTCO est relativement stable et comparable à celle d'aujourd'hui (anomalie de  $\pm 0,5$  °C). Contrairement à la MTWA, aucune inversion n'est observée dans la tendance à la hausse de la MTCO, mais l'augmentation progresse plus lentement dans la région GSL, sans doute en raison d'un caractère plus maritime.

#### 3.4.2.2 Précipitations annuelles

On observe une augmentation des précipitations annuelles totales (PANN) jusque vers 8 500 ans AA dans la région NGSL, plus continentale, et jusque vers 7 500 ans AA dans la région plus maritime du GSL, suivie d'une relative stabilité jusqu'à nos jours. Les précipitations annuelles n'ont toutefois jamais excédé celles qui prévalent aujourd'hui. L'augmentation de 11 000 ans AA à environ 8 000 ans AA est de l'ordre de 500 mm. L'anomalie toujours négative de la courbe représentant les PANN de la région NGSL est cependant biaisée par les résultats obtenus aux 3 sites de haute altitude caractéristiques de la SBb de Charlevoix/Laurentides (secteur de la SBRN : sites MADE, MAIN et MARC; annexe 11c). À ces endroits, la valeur reconstituée au sommet des séquences, c'est-à-dire celle des PANN « actuelles », est sous-estimée d'environ 300 mm. Les analogues retenus sont pourtant situés à proximité des sites, à l'intérieur d'un rayon de 1–2° de latitude et de longitude, et ils paraissent mathématiquement fiables. Dans la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005), les PANN actuelles des 3 sites du secteur de la SBRN sont estimées à environ 1 400–1 500 mm (annexe 1a). Cette valeur est sans doute trop élevée, car elle se « compare » à celle des PANN de la station météorologique de la forêt Montmorency (PANN d'environ 1 550 mm; annexe 1b), un endroit où les précipitations sont exceptionnellement abondantes, notamment en hiver. Nous avons donc recalculé l'anomalie des PANN reconstituées en excluant les 3 sites du secteur de la SBRN; cette seconde courbe est illustrée en bleu pâle sur la figure 13. Le résultat met en évidence que des précipitations comparables à celles d'aujourd'hui étaient présentes dans la région NGSL vers 8 500 ans AA et que depuis lors, elles ont augmenté légèrement. Le résultat révèle aussi que la tendance de la courbe représentant les PANN de la région NGSL basée sur

11 sites se compare à celle basée sur 8 sites, et que celle-ci peut donc être interprétée avec un haut degré de confiance.

#### 3.4.2.3 Ensoleillement estival

Le contraste climatique observé entre les sites des secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) et ceux des secteurs plus en amont et à l'intérieur des terres (région NGSL) est particulièrement bien illustré par les courbes de l'ensoleillement estival. Dans les 2 régions, le SJJJA diminue continuellement depuis environ 7 000 ans AA, et deux oscillations sont présentes à la base des séquences, de 11 000 à 8 000 ans AA. Un décalage d'environ 1 000 ans est toutefois observé entre les pics et les creux de l'oscillation principale répertoriée dans les 2 régions, car la chute des valeurs débute plus tôt dans la région NGSL. Pour l'instant, les raisons de ce décalage nous échappent. L'amplitude totale de la courbe de l'anomalie du SJJJA est beaucoup plus prononcée dans la région NGSL, particulièrement depuis environ 8 000 ans AA. Par exemple, vers 7 000 ans AA, l'ensoleillement était beaucoup plus important qu'aujourd'hui dans les secteurs éloignés du golfe et de la mer du Labrador (région NGSL, anomalie du SJJJA d'env. +3 %) que dans ceux bordant ces 2 bassins hydrographiques (région GSL, anomalie du SJJJA d'env. +1 %). Cette décroissance d'ouest en est de l'anomalie du SJJJA s'expliquerait par un effet de continentalité décroissante à mesure que l'on s'approche des côtes canadiennes orientales.

#### 3.4.3 Répartition de la végétation millénaire

Nous allons maintenant examiner la répartition de la végétation sur le territoire d'étude à 10 000, 8 000, 6 000, 4 000 et 2 000 ans AA par rapport à celle d'aujourd'hui (figure 14). Les millénaires de 10 000 et de 8 000 ans AA peuvent être associés à la première période de l'histoire du climat (avant 7 500 ans AA; figure 12) décrite à la section 3.4.1. Ceux de 6 000 et de 4 000 ans AA peuvent l'être à la seconde période (de 7 500 à 3 500 ans AA). Enfin, le millénaire 2 000 ans AA et celui d'aujourd'hui sont associés à la troisième période (après 3 500 ans AA). Ensemble, ils résument adéquatement les différentes phases de l'histoire de la végétation postglaciaire discutées précédemment (section 3.3.2). Leur espacement aux 2 000 ans se justifie par la durée moyenne des provinces polliniques postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional. Ces fenêtres chronologiques nous permettront en outre de comparer, à la section 4.6, la répartition de la végétation millénaire de l'est du Québec et au

Labrador méridional avec celle représentative de l'ouest du Québec, qui a aussi été compilée tous les 2 000 ans (Fréchette *et al.* 2018).

Pour chaque millénaire, nous avons reconstitué la végétation à l'échelle du domaine bioclimatique pour chaque groupe de sites identifié à l'aide d'un dendrogramme (figure 14). À l'examen des diagrammes polliniques (partie gauche de la figure), on note que le pourcentage millénaire des différents taxons est très uniforme pour tous les sites d'un même groupe. L'examen des cartes de végétation (partie droite de la figure) révèle que les différents groupes de sites sont bien circonscrits dans l'espace. Ces deux observations mettent en évidence que les assemblages polliniques millénaires des sites rapprochés les uns des autres sont comparables, d'une part, et qu'ils proviennent fort probablement d'une même végétation, d'autre part. La cartographie des groupes d'assemblages polliniques millénaires permet donc d'étudier la répartition de la végétation sur le territoire à une époque donnée.

Pour les millénaires de 10 000, de 9 000 et de 8 000 ans AA, le regroupement des sites est influencé par la série de pics d'abondance spécifiques à quelques taxons observée dans les diagrammes des sapinières (figure 8d à h). Ce sont : (1) *Pinus banksiana* et *Picea mariana*, (2) les herbes et *Salix*, (3) *Betula* et *Populus* et (4) *P. mariana* et *Alnus crispa* (sections 3.3.1.3 et 3.3.1.4). Comme ces pics se succèdent généralement sur moins de 1 000 ans, leur abondance maximale pourrait être attribuée à un millénaire différent d'un site à un autre. Cela peut affecter la reconstitution de la végétation pour ces fenêtres chronologique. La végétation il y a 10 000 ans AA a d'ailleurs été particulièrement difficile à reconstituer en raison de ce phénomène.

L'intensité (TSS) du dernier groupement (1<sup>er</sup> ordre) des assemblages polliniques millénaires est révélatrice (figure 14, chiffre du bas à la droite des diagrammes). Il indique que la végétation des derniers millénaires et celle du début de la période postglaciaire étaient plus homogènes sur le territoire que celle qui existait vers 6 000 ans AA. La

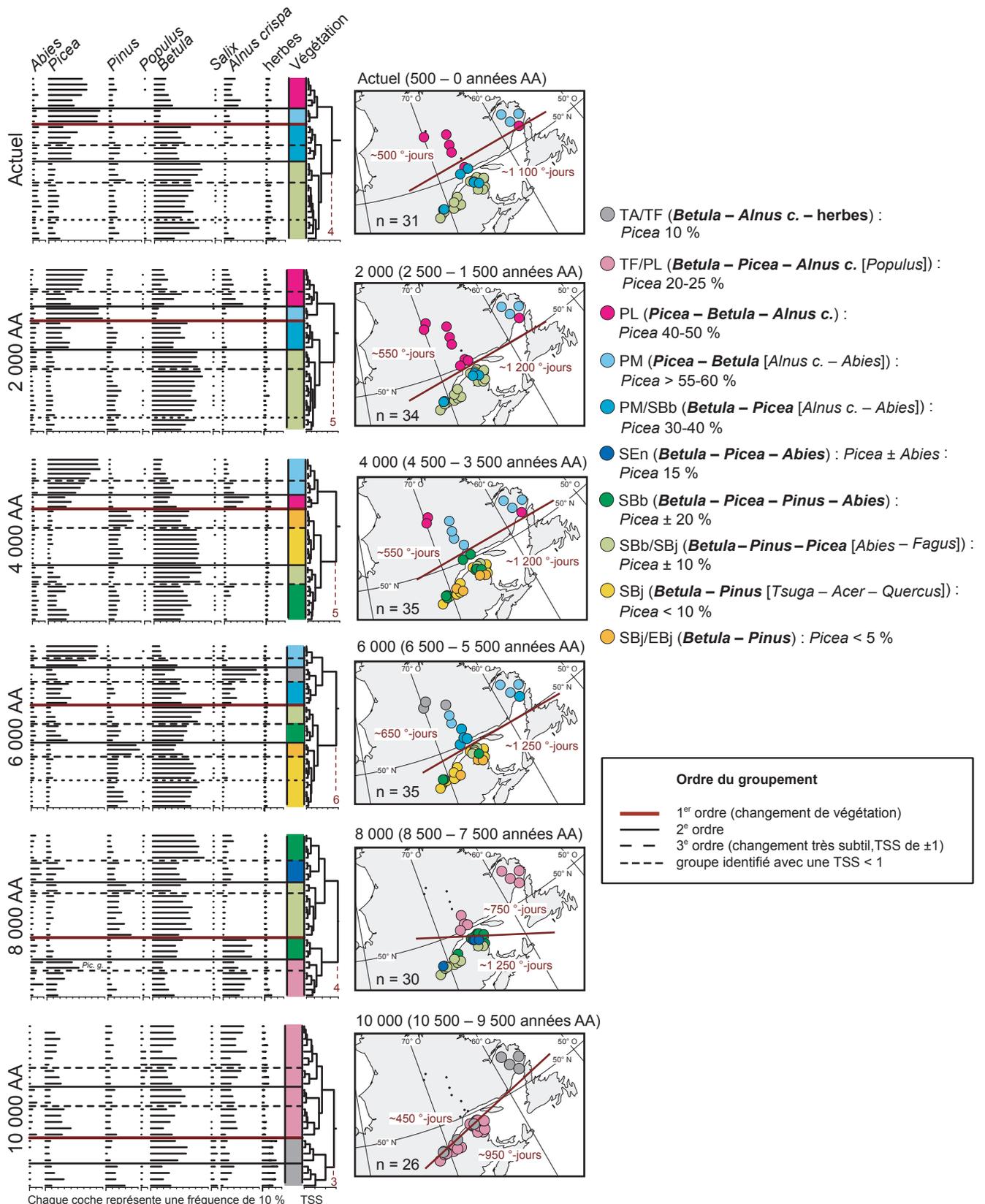
TSS du dernier groupement de la période actuelle, c'est-à-dire pour la période de 500 à 0 ans AA, est de  $\pm 4$ . Une valeur comparable ( $\pm 3-4$ ) est observée à 11 000, à 10 000, à 9 000, à 8 000 et à 7 000 ans AA (les résultats des millénaires de 11 000, de 9 000, de 7 000, de 5 000, de 3 000 et de 1 000 ans AA sont dans le supplément 4, disponible à part). La valeur de la TSS de la dernière fusion est de  $\pm 5$  à 4 000, à 3 000, à 2 000 et à 1 000 ans AA, et elle atteint un maximum de  $\pm 6$  à 6 000 et à 5 000 ans AA. La végétation qui existait sur le territoire d'étude de 6 500 à 4 500 ans AA était donc plus diversifiée qu'aujourd'hui. À cette époque, plus précisément de 7 500 à 3 500 ans AA, le climat était d'ailleurs plus chaud qu'aujourd'hui, et le couvert forestier sans doute plus dense (figure 12). Finalement, sur les cartes de la végétation millénaire (partie droite de la figure 14), la position du dernier groupement sépare les pessières des sapinières et elle correspond à l'isoligne d'env. 1 000 degrés-jours  $>5$  °C (GDD5).

#### 3.4.3.1 Il y a 10 000 ans

Vers 10 000 ans AA, le territoire du secteur de la PL du centre-nord du Québec et de l'ouest du Labrador était toujours englacé. Celui du secteur de la PM de la Côte-Nord était pour sa part submergé par la mer de Goldthwait jusqu'à une altitude d'environ 90 m (Bernatchez 2003). Seuls les sites de la PM du sud du Labrador et des sapinières de l'est du Québec ont pu enregistrer un assemblage pollinique couvrant cette fenêtre chronologique.

À cette époque, la composition et la répartition de la végétation étaient bien différentes de celles d'aujourd'hui (figure 14). La végétation était assez uniformément répartie sur le territoire, sans gradient précis, même si la position du dernier groupement (voir la ligne rouge sur la carte) indique une séparation selon l'axe du fleuve Saint-Laurent. La proximité de la calotte laurentidienne pour les sites au nord de celui-ci peut expliquer cette division. Les bouleaux glanduleux et les aulnes crispés abondaient sur l'ensemble du territoire déglacé, et les peupliers faux-trembles étaient présents sur celui

**Figure 14. (à la page 73)** Diagrammes sommaires des assemblages polliniques millénaires des sites de l'est du Québec et du Labrador méridional et cartes de la répartition des végétations correspondantes sur le territoire à 0, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000 et 10 000 ans AA. Seuls les principaux taxons arboréens et arbustifs sont illustrés dans les diagrammes, et une catégorie collective incluant toutes les herbes a été créée. Les diagrammes complets sont livrés au supplément 4 (disponible à part). Dans tous les diagrammes, chaque intervalle de l'abscisse représente une fréquence relative de 10 %. Les dendrogrammes de groupement (CONISS) sont donnés à la droite de chaque diagramme. La valeur correspondant à la somme totale des carrés en écart avec la moyenne (TSS) associée au dernier groupement est fournie. Elle nous renseigne sur l'homogénéité des groupes. La valeur de la TSS est sans unité. La description de l'assemblage pollinique des végétations reconstituées est présentée sommairement dans la légende ci-contre et en détail à l'annexe 7. Le trait épais marron sur les cartes réfère →



→ Figure 14. (suite du titre)

au dernier groupement illustré dans les diagrammes. Dans l'ensemble, le dernier groupement démarque les pessières des sapinières. La valeur moyenne des GDD5 (degrés-jours au-dessus de 5 °C) des sites de part et d'autre du trait épais marron est indiquée sur les cartes. Consulter la figure 10 pour la signification des acronymes des végétations reconstituées.

des sapinières actuelles. C'est à cette époque que les premiers bouleaux blancs et sapins baumiers se sont implantés dans l'est du Québec.

Une végétation de transition TA/TF occupait les terres du sud du Labrador et sans doute celles des secteurs de plus haute altitude du massif des Laurentides et du plateau de la Gaspésie.

#### 3.4.3.2 Il y a 8000 ans

Vers 8000 ans AA, une grande partie du territoire du secteur de la PL du centre-nord du Québec et de l'ouest du Labrador était toujours englacée. Le littoral de la PM de la Côte-Nord, auparavant submergé par les eaux de la mer de Goldthwait, a émergé. Un plus grand écart thermique qu'aujourd'hui existait entre les secteurs à proximité du golfe du Saint-Laurent (région GSL) et ceux plus en amont (région NGSL). Le long de la côte du Labrador, le couvert de glace de mer était plus persistant qu'aujourd'hui (env. 8 mois·an<sup>-1</sup> à 8000 ans AA vs env. 4–5 mois·an<sup>-1</sup> aujourd'hui; Levac et de Vernal 1997).

À cette époque, la composition de la végétation des sites dans la région GSL (sud du Labrador, Côte-Nord, haute Gaspésie) contrastait avec celle des sites dans la région NGSL (figure 14). La répartition de la végétation sur le territoire occupé par les sapinières (SBb et SBj) de l'est du Québec, comme on la connaît aujourd'hui, n'existait pas encore. Les aulnes crispés abondaient dans la région du golfe, et la végétation de la haute Gaspésie se comparait davantage à celle de la Côte-Nord qu'à celle des autres secteurs au sud du fleuve Saint-Laurent.

Une végétation de transition TF/PL occupait le sud du Labrador et la Côte-Nord. Dans le sud du Labrador, le couvert arborescent était relativement dense, et les épinettes blanches et les aulnes crispés dominaient la végétation au détriment des bouleaux. Des sapins baumiers étaient présents. Plus à l'ouest, en Côte-Nord, les épinettes noires étaient présentes et les arbustes, plus abondants qu'aujourd'hui. En haute Gaspésie, c'était plutôt une végétation clairsemée de SBb. Les populations d'épinettes noires étaient moins abondantes qu'auparavant, et les sapins baumiers (et les aulnes crispés) dominaient les peuplements. Une végétation de SEn colonisait le massif des Laurentides et le plateau de la Gaspésie. Cette végétation des hautes altitudes était probablement plus riche en sapins baumiers qu'aujourd'hui (voir le TAP d'*Abies* [ZAP 4] à l'annexe 10). Dans le sud du territoire, c'est-à-dire le Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, la baie des Chaleurs et la marge au sud du massif des Laurentides, une végétation de transition

SBb/SBj était présente. C'est sans doute à cette époque, soit vers 7500 ans AA, que les bouleaux jaunes se sont multipliés sur le territoire, d'après le plus grand diamètre des grains de pollen de *Betula* (Richard 1970). Les sapins et les bouleaux blancs dominaient alors la végétation du secteur sud du territoire. Les épinettes noires étaient rares, et des populations éparses de pins blancs étaient sans doute présentes.

#### 3.4.3.3 Il y a 6000 ans

Vers 6000 ans AA, le territoire de la PL du centre-nord du Québec était déglacé. La forêt du territoire occupé par les sapinières actuelles de l'est du Québec et de la pessière du sud du Labrador était dense, et le couvert forestier de la pessière de l'ouest du Labrador se densifiait (King 1986). L'écart thermique entre les secteurs à proximité du golfe du Saint-Laurent (région GSL) et les autres plus en amont (région NGSL) se comparait à celui d'aujourd'hui. Le contraste climatique était plutôt entre le nord (PL) et le sud (SBb-SBj) du territoire (voir la figure 16 présentée à la section 4.2.1). Il était particulièrement manifeste dans les courbes de la température estivale (supplément 2, disponible à part), qui était plus froide qu'actuellement dans la PL du centre-nord du Québec et de l'ouest du Labrador. À l'opposé, les conditions étaient plus chaudes dans les secteurs des sapinières de l'est du Québec.

À cette époque, la composition de la végétation des sites au nord du fleuve Saint-Laurent contrastait avec celle des sites au sud (figure 14). La végétation était plus morcelée qu'aujourd'hui. La grande diversité, notamment entre les secteurs au nord et au sud du fleuve, peut s'expliquer par le contraste climatique qui existait alors entre les 2 régions. Une reconstitution climatique basée sur un autre indicateur que le pollen (p. ex. les chironomidés) conforterait cette interprétation. Néanmoins, puisque la glace était toujours présente sur le territoire au-delà de la latitude 55° N. jusque vers 6000 ans AA (Dyke 2004, voir également la figure 3), le contraste climatique reconstitué est fort plausible. La répartition et la diversité de la végétation sur le territoire d'étude pourraient donc s'expliquer en partie par la chronologie de la déglaciation des sites.

Dans les secteurs au nord du fleuve Saint-Laurent, c'est à cette époque que s'est installée la végétation de pessière. La répartition des 3 différentes végétations reconstituées s'explique bien par le recul progressif de la calotte glaciaire. Près des lambeaux de glace qui persistaient encore au centre du Nunavik, l'afforestation débutait, alors que sur les sites plus distants, la forêt était déjà installée. Dans les environs du lac Caniapiscau au Nunavik,

qui ont été les plus tardivement déglacés, une végétation de transition TA/TF occupait les terrains. Les arbustes dominaient la végétation, et les épinettes noires étaient très dispersées. Un peu plus au sud, le long de la rivière Moisie, près des villes de Fermont et de Schefferville et dans l'extrême est, aux environs du lac Melville, les épinettes noires dominaient et une PM était présente. Les sapins baumiers poussaient au sud du Labrador, comme plus à l'ouest et au sud de la latitude 52° N. On trouvait peu d'aulnes crispés dans les secteurs sud et ouest du Labrador, contrairement aux sites plus au nord aux environs du lac Caniapiscou. En Côte-Nord, une forêt ouverte de transition PM/SBb s'était établie. Les aulnes crispés étaient toujours présents, et les bouleaux blancs accompagnaient plus abondamment les épinettes noires. Contrairement à aujourd'hui, les sapins baumiers étaient plus rares.

Dans les secteurs au sud du fleuve Saint-Laurent, cette époque signe la fin de la première période de la phase forestière. Vers 6 000 ans AA, la forêt était plus dense qu'auparavant, et des sapinières colonisaient la région. Dans l'ensemble, les sapins constituaient toujours l'essence dominante des forêts. Une végétation de SBb occupait le territoire du massif des Laurentides et du plateau de la Gaspésie, alors qu'une végétation de transition SBb/SBj était présente en haute Gaspésie. Les bouleaux et les sapins baumiers dominaient le paysage, et des populations d'épinettes noires occupaient les secteurs de haute altitude. Plus au sud et à de moins hautes altitudes, en marge du massif des Laurentides et dans le Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, c'était une végétation de SBj. Les bouleaux dominaient, et des populations de pins blancs étaient présentes. Ces derniers étaient particulièrement abondants dans le secteur de la baie des Chaleurs, où s'établissait une végétation de transition SBj/EBj. L'érable à sucre était présent un peu partout sur le territoire occupé par les sapinières actuelles de l'est du Québec. Son arrivée pourrait avoir eu lieu il y a environ 7 000–8 000 ans, soit sensiblement en même temps que le pin blanc et le bouleau jaune.

#### 3.4.3.4 Il y a 4 000 ans

Vers 4 000 ans AA, la densité forestière du territoire était sans doute un peu plus faible que vers 6 000 ans AA. Une différence régionale du TAP total entre les sapinières occidentales (Charlevoix/Laurentides et Bas-Saint-Laurent/Témiscouata; TAP 8 500 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) et les sapinières orientales (Gaspésie; TAP 12 500 grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) pourrait expliquer la plus faible valeur observée vers 4 000 ans AA pour l'ensemble du territoire (figure 12). Dans l'ouest du Labrador et en Côte-Nord, la densité forestière était probablement maximale.

Le climat d'alors ne différait pas beaucoup de celui d'aujourd'hui. La température était légèrement plus froide qu'il y a 6 000 ans AA. Il existait toujours un contraste climatique entre le nord (PL) et le sud (SBb-SBj) du territoire d'étude, mais celui-ci était beaucoup moins prononcé qu'auparavant (voir la figure 16 présentée à la section 4.2.1).

À cette époque, le cortège d'arbres était comparable à ce qu'il y avait vers 6 000 ans AA et la végétation était toujours morcelée (figure 14). Autour du lac Caniapiscou, les épinettes noires devenaient de plus en plus abondantes, au détriment des arbustes. Une végétation de pessière à aulne crispé comprenant sans doute un début de couverture de lichens (PL) colonisait les sols de la région. Près de Fermont et Schefferville de même que plus à l'est, aux environs du lac Melville, une végétation de PM était présente. Le couvert arborescent était cependant plus épars dans le secteur de l'ouest du Labrador qu'au sud du Labrador. Dans ces secteurs, les épinettes noires abondaient, et les sapins baumiers s'y trouvaient toujours. Plus au sud, dans les environs de Sept-Îles, les sapins baumiers et les épinettes noires étaient plus abondants qu'auparavant, et une végétation de SBb occupait le territoire. C'était aussi le cas dans le massif des Laurentides et le plateau de la Gaspésie. Dans ces 2 secteurs, les épinettes noires et les sapins abondaient plus qu'avant. Dans les 3 secteurs de la SBj actuelle, c'est-à-dire la haute Gaspésie, la baie des Chaleurs et le Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, l'abondance des bouleaux jaunes augmentait sur le territoire, tandis que les populations de pins blancs déclinaient. Une végétation de transition SBb/SBj occupait les sols à proximité de Madeleine-Centre (sites JARX et EULX). Ailleurs en haute Gaspésie et au Bas-Saint-Laurent, une végétation de SBj était présente. Dans les secteurs les plus méridionaux, au Témiscouata et dans la baie des Chaleurs, c'était une végétation de transition SBb/EBj.

#### 3.4.3.5 Il y a 2 000 ans

Vers 2 000 ans AA, la plus faible valeur du TAP total à l'échelle du territoire reflète sans doute encore une fois une légère ouverture du couvert forestier dans les sapinières occidentales et les sapinières orientales, mais davantage dans les premières. Dans l'ensemble, le climat était comparable à celui qui prévalait à l'époque précédente de même qu'à celui d'aujourd'hui. Les anomalies climatiques reconstituées sont très faibles et non significatives (figure 12). Le contraste climatique entre le nord et le sud du territoire, tout comme celui entre les régions GSL et NGSL, était également négligeable.

À cette époque, la répartition de la végétation était plus uniforme à travers le territoire des pessières et sapinières actuelles, de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent (figure 14). La végétation était également assez comparable à celle d'aujourd'hui. Dans le secteur des pessières, les bouleaux et les aulnes crispés se raréfiaient graduellement au profit des épinettes noires. Une végétation de PL comparable à celle d'aujourd'hui colonisait le territoire près du lac Caniapiscau et celui compris entre les villes de Fermont et de Schefferville, de même que celui de Sept-Îles. En Côte-Nord, la plus grande abondance du pollen d'*Alnus crispa* laisse croire à une végétation de PL plutôt qu'à une de PM. La présence d'une végétation de PL dans ce secteur pourrait s'expliquer par des feux de forêt plus étendus ou plus sévères de 3 000 ans AA à 1 000 ans AA (Remy *et al.* 2017a). Dans le sud du Labrador, une végétation de PM, riche en épinettes noires, était présente. Sur le territoire des sapinières, les pins blancs régressaient au profit des essences boréales et des hêtres. Les hêtres étaient relativement abondants dans le secteur du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (sites OUEL, BEAZ et FOURX; supplément 4c, disponible à part). Dans les secteurs de haute altitude (massif des Laurentides et plateau de la Gaspésie), une végétation de transition PM/SBb colonisait les sols, et les épinettes noires étaient de plus en plus abondantes dans le paysage. Ailleurs, les végétations de SBj et de SBj/EBj comme celles de l'époque précédente (4 000 ans AA) n'existaient plus sur le territoire. La proportion de pins blancs dans la végétation était trop faible vers 2 000 ans AA pour permettre une attribution des assemblages à une végétation de SBj ou de SBj/EBj (annexe 7). Pour ces secteurs, nous avons interprété les assemblages comme SBb/SBj. La proportion de sapins baumiers, de hêtres à grandes feuilles et parfois d'épinettes noires était plus grande dans les forêts de la haute Gaspésie, de la baie des Chaleurs et du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, par rapport à ce qu'il y avait vers 4 000 ans AA.

### 3.4.3.6 Le dernier millénaire

Il s'agit de l'époque contemporaine. Par rapport à la précédente, le couvert forestier s'est ouvert légèrement. En effet, le TAP total des sites dans l'ensemble du territoire a légèrement diminué. Contrairement à 2 000 ans AA, cette plus faible valeur n'est pas biaisée par une région en particulier. Le climat actuel est bien reconstitué. Les anomalies climatiques sont minimales pour l'ensemble du territoire (figure 12) et à travers celui-ci (régions GSL vs NGSL; figure 13).

Les assemblages des sites des pessières sont bien distincts de ceux des sapinières, et la végétation actuelle est bien reconstituée (figure 14). Les différentes végétations sont distribuées selon les latitudes et l'altitude, conformément au gradient thermique de la région. Une végétation de PM est présente dans l'extrême est du territoire (secteur de la PMSL : lat. 52–53° N., long. 56–58° O.) tandis qu'une végétation de PL occupe le centre-nord de celui-ci (secteurs de la PLCN et de la PLOL : lat. 52–55° N., long. 66–70° O.). Selon les assemblages polliniques, ces végétations sont différentes de celles des secteurs plus au sud (voir le dendrogramme à la figure 14). En Côte-Nord et dans les secteurs de haute altitude (plateau de la Gaspésie et massif des Laurentides), une végétation de transition PM/SBb a été reconstituée. Plus au sud, dans les secteurs du domaine actuel de la SBj (Bas-Saint-Laurent/Témiscouata, haute Gaspésie, baie des Chaleurs), c'est plutôt une végétation de transition SBb/SBj. Le regroupement des grains de pollen de *Pinus* et la difficulté de distinguer les grains de *Betula papyrifera* de ceux de *Betula alleghaniensis* expliquent en partie pourquoi les domaines bioclimatiques (PM/SBb et SBb/SBj) ont dû être regroupés lors de l'interprétation des groupements numériques.

## Chapitre 4 – Discussion

En nous fondant sur l'examen de 35 sites, nous avons décrit la différenciation spatiale et temporelle du couvert végétal et du climat dans les sous-domaines bioclimatiques orientaux de la SBJ et de la SBB, de même que dans ceux de la PM et de la PL du Québec et du sud du Labrador. Nous comparerons maintenant ces résultats avec ceux des 26 sites des sous-domaines occidentaux des pessières et sapinières qui sont présentés dans Fréchette *et al.* (2018). Les bornes chronologiques utilisées pour cette comparaison ont été arrondies aux 500 ans près. Cela nous permettra d'examiner l'ensemble de la forêt boréale du Québec sous les angles de la dynamique postglaciale de la végétation et du climat. Nous soulignerons les ressemblances et les différences entre les sous-domaines bioclimatiques occidentaux et orientaux et nous en préciserons les causes possibles, probables ou avérées. Pour ce faire, nous discuterons d'abord de certains aspects particuliers de cette dynamique associés à la végétation (degré d'ouverture de la forêt, feux) et au climat (gradients spatiotemporels, oppositions ouest-est).

### 4.1 Taux d'accumulation pollinique total et densité du couvert forestier

L'interprétation du TAP total en lien avec la densité du couvert forestier peut être équivoque. Dans la première moitié des séquences polliniques, le TAP total croît manifestement à la suite de la déglaciation, grâce à l'incorporation successive du pollen d'individus appartenant à diverses espèces dans la flore environnante des sites, notamment avec l'arrivée des arbres. En outre, des tendances variables peuvent résulter du fait que des essences à forte production pollinique en remplacent d'autres qui sont sous-représentées par leur pollen, ou *vice versa*. En principe, le TAP total devrait refléter plus ou moins fidèlement la densité ou la biomasse du couvert forestier. Blarquez et Aleman (2016) ont toutefois utilisé les pourcentages de représentation pollinique et non les TAP pour établir un lien entre le pollen et la biomasse; ils en concluent à tort qu'il n'y a pas eu de délai dans l'afforestation postglaciale dans l'est du Canada. Pourtant, le présent mémoire démontre clairement la présence d'un tel délai, sauf dans certains sites des sous-domaines bioclimatiques des pessières et des sapinières de l'Ouest (Fréchette *et al.* 2018, Richard *et al.* 2020). Le phénomène est par ailleurs rare dans le reste de l'est de l'Amérique du Nord.

Une diminution du TAP total est souvent observée vers le sommet des séquences polliniques. Elle pourrait toutefois s'expliquer par une modification dans les conditions d'accumulation sédimentaire et pollinique dans les lacs avec le temps (Lehman 1975), sans changement notable dans la densité ou la biomasse de la couverture forestière environnante. Ainsi, l'effet d'autres facteurs affectant la production pollinique (un refroidissement du climat, une diminution du nombre d'heures d'ensoleillement, des feux plus fréquents ou encore un appauvrissement des sols) serait en quelque sorte masqué.

Il est essentiel de considérer la morphométrie des lacs lors de l'interprétation des courbes du taux d'accumulation sédimentaire (TAS) et du TAP total. En principe, si les courbes du TAP de tous les taxons présentent la même allure, alors nous sommes en présence de modifications de l'accumulation sédimentaire plutôt que de changements dans la biomasse ou d'ouvertures du couvert forestier. Par exemple, dans plusieurs petits lacs présentant un profil en coupe conique, la focalisation sédimentaire décroît avec le temps. Au départ, toutes les retombées polliniques à la surface de l'eau du lac sont déposées dans sa partie la plus profonde, initialement beaucoup plus petite. Par la suite, avec le temps et à mesure que le bassin se remplit de sédiments, ces mêmes retombées éoliennes se répartissent sur une surface sédimentaire de réception de plus en plus vaste, et le TAP diminue (Lehman 1975). On doit donc tenir compte de l'existence de ces deux stades pour interpréter certaines portions des courbes des CP totales ou des TAP totaux, soit : (1) les diminutions ou inversions qui surviennent quand les CP sont en croissance (première moitié des diagrammes), puis (2) les diminutions qui surviennent dans la deuxième moitié des diagrammes (figure 8, pour les sites où le TAS a pu être calculé). Selon la morphométrie des lacs, il arrive que le TAS ne diminue pas au sommet des sédiments. Par ailleurs, quelle que soit la morphométrie du lac, des changements du niveau d'eau liés à ceux dans le bilan hydrique peuvent modifier la taille de la surface du lac qui reçoit les retombées polliniques. Ce phénomène altère grandement les propriétés du dépôt de pollen au fond du lac. L'idéal (malheureusement inexistant) serait un bassin lacustre dont la forme serait assimilable à un cylindre à fond plat. Les apports polliniques et

sédimentaires y seraient alors toujours répartis de la même manière au fil du temps, quels que soient les changements éventuels du niveau de l'eau.

Pour presque tous les sites des pessières et sapinières du Québec, le TAP total diminue vers le sommet des séquences sédimentaires (figure 15e). Dans l'est du Québec, le TAP total millénaire atteint un maximum entre 7 500 et 4 500 ans AA alors que dans l'ouest, les valeurs maximales sont observées plus tard, de 4 500 à 1 500 ans AA. Dans l'est du Québec, le TAP total diminue et l'abondance du pollen d'*Alnus crispa* augmente vers le sommet des séquences. Cela indique, *a priori*, que le couvert forestier s'est ouvert au cours des derniers millénaires (section 3.3.1). Cette situation est particulièrement bien exprimée dans certains sites des sapinières à proximité du fleuve Saint-Laurent (MORO, FOURX, JARX et BOUCHX) depuis environ 2 000 ans (figures 8e et 8g). Cette diminution n'est toutefois pas généralisée à l'ensemble des sites (figure 8).

Sur le territoire des pessières actuelles du Québec (PL et PM), l'ouverture du couvert forestier au cours des derniers millénaires pourrait s'expliquer par la recrudescence des feux de forêt (Payette 1992; Payette et Delwaide 2018) ou par une augmentation de la superficie de forêts incendiées de 3 000 à 1 000 ans AA (Remy *et al.* 2017a). Les variations dans les propriétés physiques et chimiques des sols pourraient également être mises en cause (Bastianelli *et al.* 2017). Dans la PL (et la TF), des études ont démontré que l'épinette noire se régénère plus lentement (ou pas du tout) après un feu sous des conditions climatiques plus fraîches (Arseneault et Payette 1992).

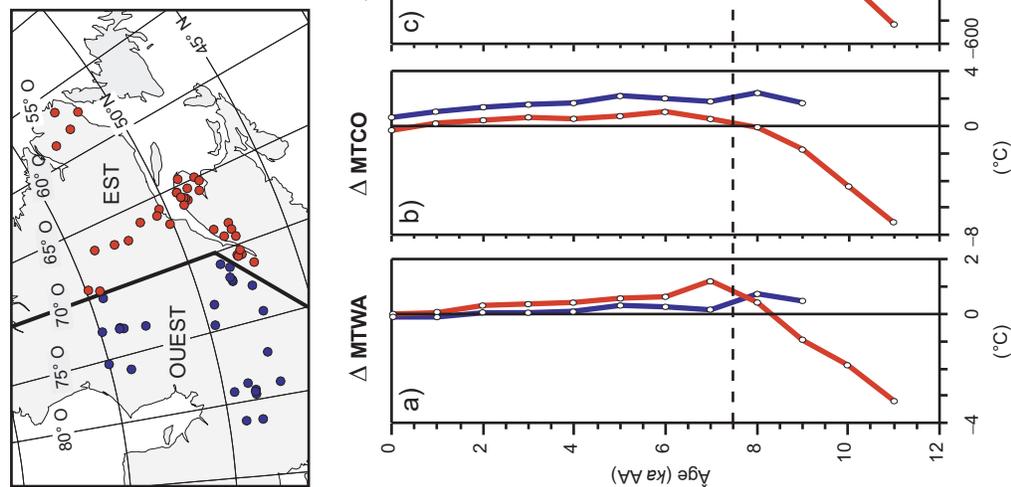
Sur le territoire des sapinières actuelles (SBb et SBj), il est plus difficile d'associer la diminution du TAP total à une possible ouverture du couvert forestier. Dans l'est du Québec, notamment, cette

diminution pourrait être liée à celle du nombre d'heures d'ensoleillement. Elle reflèterait donc une baisse de la productivité pollinique des plantes, et non une réduction de leur densité. Il est bien connu que le nombre d'heures d'ensoleillement, tout comme l'écart thermique journalier, la MTWA et la MTCO, influence la production pollinique et la croissance des plantes (de Boeck et Verbeeck 2011, Johnson et Smith 2008). Par exemple, en terre de Baffin et au Groenland, l'allure de la courbe du TAP total est positivement corrélée à celle du SJJJ (Fréchette et de Vernal 2009). Dans l'est du Québec, on note une assez forte diminution du SJJJ depuis environ 2 000 ans (figure 15d), particulièrement dans les sites bordant le golfe et le bas estuaire du Saint-Laurent (figure 13). Cette baisse pourrait résulter d'une production accrue de brouillards côtiers (voir la section 4.2.4). Notre interprétation s'appuie sur la plus grande abondance du pollen d'aulne crispé dans les sédiments sommitaux. L'augmentation de cette espèce, bien adaptée aux embruns marins et aux brouillards, pourrait s'expliquer par une formation accrue de brouillards maritimes et une diminution du nombre d'heures d'ensoleillement (voir la section 4.3.3).

#### 4.2 Différenciation spatiale et temporelle du climat

À la figure 15, nous comparons l'évolution des anomalies du climat millénaire (écarts par rapport au climat d'aujourd'hui) dans les pessières (PL et PM) et les sapinières (SBb et SBj) de l'est du Québec et du Labrador méridional à celle dans les pessières et sapinières de l'ouest du Québec. Les courbes révèlent un contraste entre l'est et l'ouest du Québec jusque vers 7 500 ans AA, particulièrement dans l'ensoleillement estival (SJJJ). Les différences observées sont discutées en lien avec : (1) l'intensité du rayonnement solaire incident (insolation) reçu sur Terre; (2) l'étendue de la calotte glaciaire en Amérique du Nord; (3) les conditions des eaux

**Figure 15. (à la page 79)** Comparaison du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaires de l'est et de l'ouest du Québec avec la surface de l'Amérique du Nord englacée, l'intensité de la radiation solaire reçue (insolation) sur Terre aux latitudes 30° et 60° N., la teneur en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des glaces du Groenland aux sites GRIP et GISP2 et l'excès en deutérium ( $\delta\text{D}$ ) pour ces mêmes glaces au site GRIP. Les résultats de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) (a), de la température moyenne du mois le plus froid (MTCO) (b), des précipitations annuelles totales (PANN) (c), de l'ensoleillement estival moyen (juin, juillet et août : SJJJ) (d) sont présentés par millénaire et sont exprimés en anomalie par rapport à la période actuelle ( $\Delta$ ). L'emplacement des sites de l'ouest et de l'est du Québec est illustré sur une carte du haut. Le climat postglaciaire observé aux sites de l'ouest du Québec (voir la figure 19 dans Fréchette *et al.* 2018) a été révisé. Il est fondé sur la base de données modernes couvrant l'est de l'Amérique du Nord ( $n = 2\,418$  sites), comme pour les sites de l'est du Québec et du Labrador méridional. Le climat reconstitué de nouveau est identique à celui présenté dans Fréchette *et al.* (2018), utilisant une base de données modernes de 1 010 sites. En (e), le TAP total des sites de l'ouest a également été révisé. Les valeurs du taux d'accumulation sédimentaire (TAS), nécessaires au calcul du TAP total, sont celles obtenues avec le programme CLAM 2.2 (Blaauw 2010), comme pour les sites de l'est →



**Figure 15 (suite du titre)**

du Québec. Le TAP total reconstitué de nouveau est très comparable à celui présenté à la figure 19 dans Fréchette et al. (2018). Les moyennes millénaires de l'est et de l'ouest du Québec sont toujours basées sur les données d'au moins 15 sites. Sinon, leur nombre est indiqué entre parenthèses à côté de la valeur. C'est le cas notamment pour le TAP total à 8 000 et 9 000 ans AA dans l'ouest du Québec. En (f), l'estimation de la surface de l'Amérique du Nord englacée est tirée de Dyke (2004). En (g), les valeurs de l'intensité de la radiation solaire reçue (insolation) sur Terre aux latitudes 30° et 60° N. sont tirées de Berger et Loutre (1991). En (h), la teneur en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des glaces du Groenland au site GRIP est tirée de Masson-Delmotte et al. (2005) et celle au site GISP2 de (Grootes et Stuiver 1997). En (i), le résultat relatif à l'excès en deutérium (dD) dans les glaces au site GRIP (Masson-Delmotte et al. 2005) est exprimé sous la forme d'une cote Z. Les données des 12 000 dernières années ont servi de référence pour le calcul. Les valeurs de la cote Z de  $\delta\text{D}$  sont sans unité. La ligne tirée horizontale à 8000–7000 ans AA marque la période charnière discutée à la section 4.2.5. LIS : Laurentide Ice Sheet.

de surface dans le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador; et (4) les conditions atmosphériques globales à l'échelle amphi-atlantique.

Les reconstitutions de la température des eaux océaniques de surface (en anglais, *sea surface temperature* [SST]) sont basées sur la technique des analogues modernes appliquée aux kystes de dinoflagellés présents dans les sédiments marins (p. ex. de Vernal *et al.* 2013). La fiabilité de la comparaison entre les conditions des eaux de surface et le climat terrestre a été abordée par Sawada *et al.* (1999). L'information sur les conditions atmosphériques globales agissant à l'échelle amphi-atlantique depuis 12 000 ans AA est déduite des données isotopiques ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta\text{D}$ ) des glaces du Groenland (Grootes et Stuiver 1997 pour le site GISP2, Masson-Delmotte *et al.* 2005 pour le site GRIP). Les teneurs en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) dans les molécules d'eau formant la glace nous renseignent sur les températures passées. Plus elles sont faibles, plus la température au lieu de condensation est froide. L'excès en deutérium ( $\delta\text{D}$ ) dans les molécules d'eau de la glace traduit la température de la région océanique où s'est produite l'évaporation initiale des masses de vapeur d'eau parvenant aux pôles. Une variation de cette variable peut refléter un changement de la trajectoire des masses d'air atteignant les pôles.

Nous comparerons le climat des pessières et sapinières du Québec, à pas millénaire et en tenant compte des conditions des eaux de surface du golfe du Saint-Laurent et de la mer du Labrador, de même que des données isotopiques des glaces du Groenland. Cet exercice nous permettra d'examiner, d'abord, le **couplage océan-atmosphère** du système climatique le long des marges orientales canadiennes, puis le lien entre la **dynamique forestière** dans l'est du Québec et les **particularités de la circulation atmosphérique**. Boucher *et al.* (2017) ont abordé l'effet du couplage océan-atmosphère du système climatique sur la dynamique forestière. Ils ont souligné à quel point les échanges d'humidité entre l'océan et l'atmosphère influencent la production de la biomasse forestière dans la taïga québécoise.

En définitive, cet exercice permettra d'expliquer l'écart de 1 000 ans observé entre les régions GSL et NGSL au début de la phase forestière (figure 11) et le déclin des épinettes noires au profit des aulnes crispés vers 10 000 ans AA. Il permettra aussi d'évaluer si le déficit d'ensoleillement observé avant 8 000 ans AA dans l'est du Québec (figure 12) peut s'expliquer par une fréquence accrue d'épais brouillards.

#### 4.2.1 Température et précipitations

Dans l'est du Québec, les températures se sont réchauffées jusque vers 7 000 ans AA, puis elles ont refroidi. Par contraste, on observe un refroidissement graduel depuis 9 000 ans AA dans l'ouest du Québec (figure 15a). Vers 9 000 ans AA la température estivale était légèrement plus élevée qu'aujourd'hui (anomalie de +0,5 °C) dans l'ouest, alors qu'une anomalie négative (-1,0 °C) est observée dans l'est (figure 15a). Jusque vers 8 000 ans AA, il existe donc un contraste dans la température estivale entre l'est et l'ouest du Québec. Dans l'ouest, le refroidissement estival observé depuis 9 000 ans AA se compare aux résultats obtenus à l'aide des modèles climatiques pour la même région (Ali *et al.* 2012, Oris *et al.* 2014). Dans l'est, toutefois, il n'existe pas de simulation numérique correspondant au territoire d'étude. Les résultats de Blarquez *et al.* (2015) ne couvrent que les 7 000 dernières années et portent sur l'ensemble de la forêt boréale et tempérée mixte du Québec, tandis que ceux de Blarquez et Aleman (2016) s'appliquent à tout l'est du Canada.

Le refroidissement de la température hivernale est plus prononcé dans l'ouest que dans l'est du Québec (figure 15b). De 9 000 ans AA à aujourd'hui, il est de l'ordre de 2 °C dans l'ouest et d'environ 1 °C dans l'est. La différence illustre bien l'effet de continentalité décroissante à mesure que l'on s'approche des marges orientales canadiennes.

Les résultats montrent aussi une augmentation des précipitations annuelles totales (PANN) depuis 9 000 ans AA (figure 15c). Les PANN ont légèrement augmenté depuis environ 5 000 ans AA dans l'ouest alors que dans l'est, elles sont demeurées relativement stables.

La forte anomalie négative de la MTWA (-3,0 °C) observée dans l'est du Québec vers 11 000 ans AA (figure 15a) s'explique par la proximité de la calotte glaciaire et les vents catabatiques froids et secs qui en proviennent (figure 3). Malgré la forte insolation estivale de l'époque (> 510 W·m<sup>-2</sup> en juin; figure 15g, Berger et Loutre 1991), près de 40 % de l'Amérique du Nord était toujours englacé (figure 15f; Dyke 2004). Les faibles teneurs en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des glaces du Groenland jusque vers 10 000 ans AA traduisent bien l'effet refroidissant de la calotte glaciaire sur le climat de la région amphi-atlantique (figure 15h, Grootes et Stuiver 1997 pour le site GISP2, Masson-Delmotte *et al.* 2005 pour le site GRIP). Le refroidissement associé à la proximité de la calotte glaciaire est bien visible, aussi, si l'on compare l'anomalie à l'échelle millénaire de la MTWA des sites de la PL, englacés jusque vers

7000 ans AA, avec celle des sites des sapinières (SBb et SBj), libres de glaces depuis au moins 11 000 ans (figure 16).

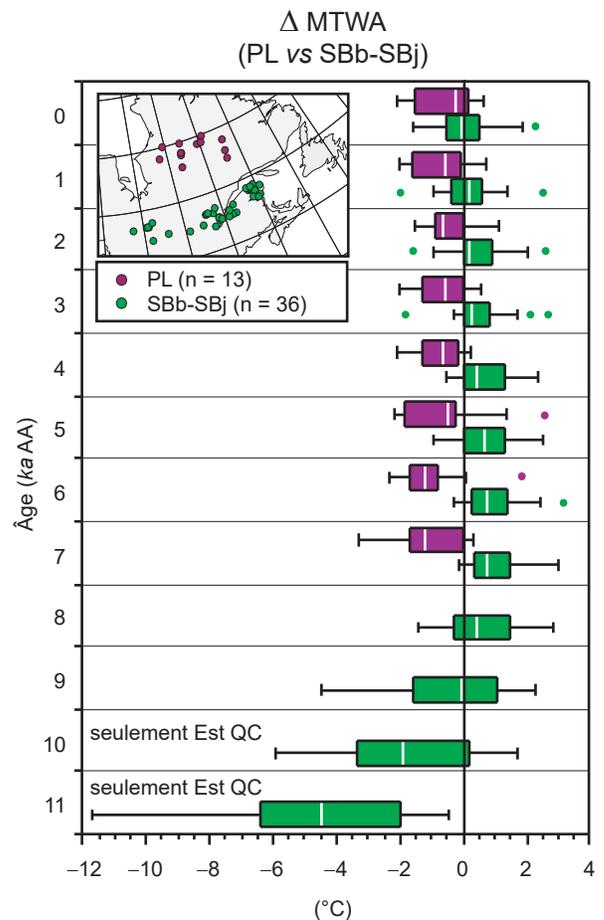
Le réchauffement progressif observé dans l'est du Québec de 11 000 à 7 000 ans AA s'explique, d'une part, par la récession de la calotte glaciaire (figure 3) et, d'autre part, par le réchauffement graduel des eaux de surface du golfe du Saint-Laurent et de la mer du Labrador. À cette époque, l'effet refroidissant des vents anticycloniques issus de la masse d'air froid chapeautant l'inlandsis était probablement plus fort du côté est-sud-est de la calotte. Dans ce secteur, les vents d'ouest dominants, qui étaient alors plus chauds et forts qu'aujourd'hui, étaient détournés vers le sud-sud-est. Ce n'était pas le cas dans l'ouest du Québec aux latitudes des pessières et sapinières actuelles. Cette différence explique sans doute le contraste de la MTWA observé entre l'ouest et l'est du Québec (figure 15a), et en partie celui observé avant 8000 ans AA entre les régions NGSL et GSL (figure 13).

Le refroidissement subséquent qui se manifeste à travers la Boréale québécoise s'explique par la diminution continue de l'intensité du rayonnement solaire incident (insolation) reçu sur Terre. Dans l'hémisphère Nord, à la latitude 60° N., l'insolation au mois de juin était d'environ 520 W·m<sup>-2</sup> il y a 11 000 ans AA, et de 510 W·m<sup>-2</sup> à 7 000 ans AA. Aujourd'hui, elle est inférieure à 480 W·m<sup>-2</sup> (Berger et Loutre 1991). La baisse de l'insolation de 11 000 à 7 000 ans AA (10–15 W·m<sup>-2</sup>) est limitée par rapport à celle survenue de 7 000 ans AA à aujourd'hui (40–45 W·m<sup>-2</sup>).

#### 4.2.2 Ensoleillement estival

Dans l'est du Québec, le nombre d'heures d'ensoleillement estival (SJJJA) augmente de 11 000 à 7 000 ans AA (4 %), puis diminue graduellement jusqu'à aujourd'hui (2 %; figure 15d). Dans l'ouest du Québec, on note plutôt une diminution relativement progressive de l'ordre de 4 % depuis 9 000 ans AA, avec une baisse plus prononcée de 8 000 à 7 000 ans AA (figure 15d). À 9 000 ans AA, le nombre d'heures d'ensoleillement était plus grand qu'aujourd'hui (+3 %) dans l'ouest du Québec, mais plus faible dans l'est (-1 %). Depuis 7 500 ans AA, ce nombre diminue d'environ 2 %, tant dans l'est que dans l'ouest. Une baisse plus prononcée (env. 1 %) est néanmoins observée dans l'est du Québec depuis 1 500 ans AA.

Dans l'ouest du Québec, la forte anomalie positive du SJJJA observée de 9 000 à 7 000 ans AA peut s'expliquer par la prévalence d'une circulation atmosphérique anticyclonique (d'ouest en est) plus



**Figure 16.** Comparaison de l'anomalie ( $\Delta$ ) de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) de la pessière à lichens (PL) du Québec avec celle des sapinières (SBb et SBj). Le résultat de la MTWA est mis en évidence par des boîtes à moustaches pour tous les 1000 ans. Pour les tranches millénaires 10000 et 11000, il n'y a pas de données provenant de l'ouest du Québec. Les résultats pour la PL sont basés sur les données de 13 sites et ceux de la SBb-SBj, sur celles de 36 sites. Pour les tranches millénaires 8000, 9000, 10000 et 11000, aucune donnée ne provient de la PL. L'emplacement des sites est illustré sur la carte du haut.

intense à cette époque. Sa diminution graduelle par la suite découlerait d'un affaiblissement des grands vents d'ouest, qui auraient entraîné une circulation plus cyclonique par les pôles (Fréchette et al. 2018). Dans l'est du Québec, la cause du déficit d'ensoleillement observé de 11 000 à 8 000 ans AA semble différente. Nous l'attribuons à un plus grand échange d'humidité entre l'océan et l'atmosphère et à une fréquence accrue d'épais brouillards (voir la section 4.2.4).

De 7 000 à 3 000 ans AA, le nombre d'heures d'ensoleillement sur le territoire des pessières et

sapinières du Québec était plus élevé qu'aujourd'hui (figure 15d). Contrairement à la période précédente, l'anomalie du SJJJA observée (env. +2 %) est comparable dans l'est et dans l'ouest. Ce plus grand nombre d'heures d'ensoleillement par rapport à aujourd'hui pourrait s'expliquer par (1) une circulation atmosphérique principalement zonale (d'ouest en est) à la suite du retrait de la calotte glaciaire (« disparition » des vents catabatiques), et (2) « l'instauration » des vents d'ouest dominants (courant-jet, en anglais, *jet stream*) en provenance de l'intérieur du continent. De 7 000 et 3 000 ans AA, les vents d'ouest étaient sans doute plus forts qu'aujourd'hui sur le territoire des pessières et sapinières.

L'anomalie négative du SJJJA observée dans l'est du Québec depuis env. 2 000 ans AA pourrait s'expliquer par un changement dans la circulation atmosphérique. La diminution est particulièrement marquée dans la région GSL (figure 13). Dans les sédiments marins de la baie de Placentia au sud de Terre-Neuve (47° 08' N., 54° 33' O.), le flux de pollen de source lointaine et méridionale diminue depuis 3 000 ans, ce qui s'explique par un changement de circulation atmosphérique, notamment un parcours par les pôles (du nord au sud; Jessen *et al.* 2011). En Côte-Nord, la tourbière Baie (49° 04' N., 68° 14' O.) a reçu une proportion accrue de poussières atmosphériques au cours des 2 000 dernières années (Pratte *et al.* 2017). Des pics marqués de flux de poussières surviennent de 1 700 à 1 000 ans AA et de 650 à 100 ans AA. Pratte *et al.* (2017) les expliquent par la prévalence de conditions froides et sèches liées à l'intrusion des masses d'air arctique dans le nord-est du Canada, et donc à une circulation qui se ferait davantage par les pôles. Ils interprètent ces pics comme des périodes d'instabilité climatique découlant d'un changement du régime des vents.

#### 4.2.3 Conditions des eaux de surface dans le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador

Dans l'est du Québec, de 11 000 à 7 000 ans AA, la courbe de la MTWA des sites bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) oscille de façon marquée, alors que plus en amont du golfe et à l'intérieur des terres (région NGSL), la MTWA augmente de manière continue (figures 17a et 17b). Dans la région GSL, la température s'est refroidie momentanément de 10 000 à 9 000 ans AA. Dans les diagrammes polliniques, ce changement se manifeste par la chute abrupte du pollen de *Picea mariana* et la recrudescence de celui d'*Alnus crispa*.

Des conditions comparables à celles d'aujourd'hui prévalaient vers 9 000 ans AA dans la

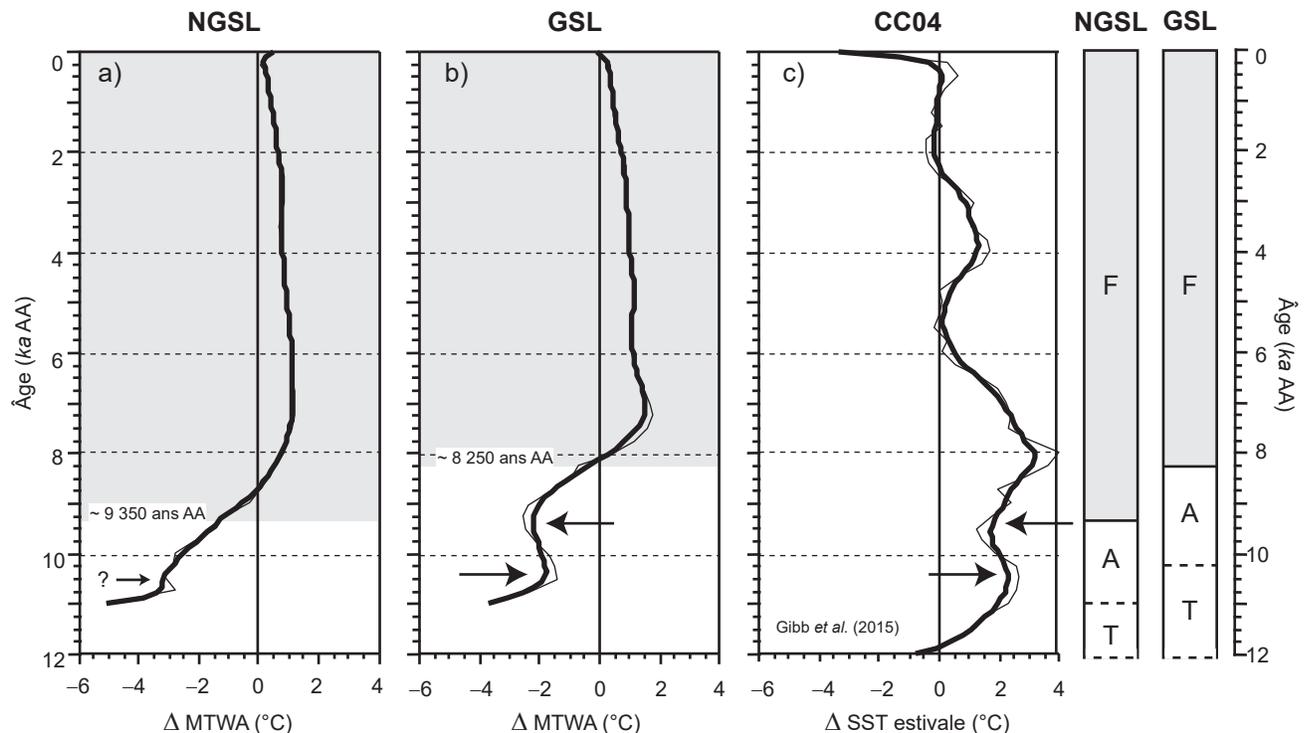
région NGSL, mais elles sont survenues près de 1 000 ans plus tard, vers 8 000 ans AA, dans la région GSL (figure 11). L'atteinte plus tardive de la MTWA actuelle dans la région GSL s'explique naturellement par l'effet tampon exercé par les grands plans d'eau que sont le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador à proximité des sites et, dans une moindre mesure, par leur proximité changeante par rapport à la calotte laurentidienne en récession.

Jusque vers 9 000 ans AA, la mer de Goldthwait était présente dans le secteur du bas estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Dionne 2001). De plus, jusque vers 8 300 ans AA, la calotte glaciaire et le drainage du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway apportaient de l'eau de fonte (voir la figure 19d présentée à la section 4.3.2) dans le golfe et la mer du Labrador (Lewis *et al.* 2012). Ces deux phénomènes ont ralenti le réchauffement des eaux de surface et retardé celui de la température dans tout l'est du Québec (Anderson *et al.* 2007), et plus particulièrement dans la région GSL. Les oscillations visibles dans la courbe de la MTWA de la région GSL (figure 17) témoignent sans doute de ces apports.

Dans leur étude de la teneur en oxygène 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des coquilles des faluns de la région de Baie-Comeau (vers 12 000–11 000 ans AA), Bernatchez *et al.* (1999) ont démontré que la température moyenne annuelle de l'eau dans la mer de Goldthwait était environ 6 °C plus froide que celle d'aujourd'hui dans le bas estuaire du Saint-Laurent (Bourgeois-Roy 2015). Ces dépôts coquilliers se seraient formés lors d'une hausse relative du niveau marin vers la fin du Dryas récent (en anglais, *Younger Dryas*; vers 12 700–11 700 ans AA), en raison de la fonte des glaces (Bernatchez 2005).

Avant 8 000 ans AA, les eaux de surface estivales le long de la côte du Labrador étaient plus froides d'à peu près 4 °C (courbe représentant la carotte HU006 à l'annexe 12a), et le couvert de glace de mer était plus persistant qu'aujourd'hui (env. 8 mois-an<sup>-1</sup> à 8 000 ans AA, par rapport à 4–5 mois-an<sup>-1</sup> de nos jours; Levac et de Vernal 1997). Par la suite, les eaux côtières se sont réchauffées en raison de la diminution puis de l'arrêt des apports en eau de fonte provenant de la calotte glaciaire dans la mer du Labrador et, du même coup, d'un couvert de glace saisonnière moins persistant (Jennings *et al.* 2015).

Le réchauffement de la région GSL vers 10 000 ans AA et le refroidissement qui a suivi vers 9 000 ans AA sont apparents aussi dans la courbe illustrant la reconstitution de la température estivale des eaux de surface du centre-nord de la mer du Labrador (figure 17c; Gibb *et al.* 2014, 2015).



**Figure 17.** Comparaison de l'évolution submillénaire de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) de la région en amont de l'estuaire du Saint-Laurent et à l'intérieur des terres (NGSL), et celle bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (GSL) avec la température des eaux de surface en été (SST) dans le nord de la mer du Labrador. Le résultat est présenté par tranches de 250 ans et est exprimé en anomalie par rapport à la valeur actuelle ( $\Delta$ ). Dans les graphiques de la MTWA de la région NGSL (a) et celle de la région GSL (b) ainsi que dans le graphique de la SST estivale (juin, juillet, août) du site CC04 (carotte HU2008-029-004PC, 61° 27' N., 58° 02' O.) dans le nord de la mer du Labrador, d'après Gibb et al. (2015) (c), le trait épais est une courbe lissée à travers les points. La méthodologie employée pour l'interpolation des données climatiques tous les 250 ans pour les sites des régions NGSL et GSL ainsi qu'au site CC04 est décrite à la section 2.4.2. Voir la figure 13 pour l'emplacement des sites inclus dans les régions NGSL et GSL. Voir l'annexe 12 pour celui du site CC04 et la valeur de la SST estivale reconstituée à tous les niveaux analysés. La reconstitution de la SST estivale du site CC04 est basée sur la méthode des analogues modernes appliquée aux assemblages de kystes de dinoflagellés. La comparaison de la chronologie des trois phases de l'histoire de la végétation pour les régions GSL et NGSL est présentée à la droite (phase non arboréenne ou d'immigration des espèces ligneuses [T], phase d'afforestation [A] et phase forestière [F]). Dans les graphiques (a) et (b), la zone grisée correspond à la phase forestière et l'âge moyen de son début est indiqué. En (b) et (c), les flèches mettent en valeur le synchronisme des courbes, notamment un réchauffement vers 10 500 ans AA suivi d'un refroidissement vers 9 500 ans AA. Le réchauffement vers 10 500 ans AA est associé à la province pollinique à « *Picea – Populus* » (voir la figure 20), et le refroidissement subséquent, à la province à « *Alnus crispa* ».

L'oscillation de la courbe représentant la MTWA dans la région GSL (figure 17b), qui indique que la température estivale s'est momentanément refroidie, est donc bien « réelle ». Elle illustre un couplage océan-atmosphère du système climatique à cette époque dans le secteur de la mer du Labrador et du golfe du Saint-Laurent.

Récemment, Boucher et al. (2017) ont examiné l'importance de ce couplage océan-atmosphère du système climatique le long des marges orientales canadiennes et son lien sur la dynamique forestière dans l'est du Québec. Plus particulièrement, ils ont

souligné l'influence des échanges d'humidité entre l'océan et l'atmosphère sur la production de la biomasse forestière dans la taïga québécoise. Dans le secteur du golfe du Saint-Laurent, la production de brouillards côtiers est un bel exemple de tels échanges.

#### 4.2.4 Contraste thermique et production de brouillards

Jusque vers 7 500 ans AA, les courbes des anomalies du climat millénaire révèlent un contraste entre l'est et l'ouest du Québec (figure 15). Celui-ci est particulièrement net pour l'ensoleillement estival

(SJJJ; figure 15d) : un déficit d'ensoleillement est observé dans l'est du Québec, alors que dans l'ouest, le ciel était plus clair et ensoleillé qu'aujourd'hui. À la section 4.2.2, nous avons suggéré qu'un plus grand échange d'humidité entre l'océan et l'atmosphère et une fréquence accrue d'épais brouillards dans le secteur du golfe du Saint-Laurent ont pu causer le déficit d'ensoleillement dans l'est du Québec avant 8000 ans AA. Nous allons maintenant vérifier cette hypothèse en examinant le contraste thermique entre l'air et l'eau à une époque donnée. À cet égard, rappelons que dans le secteur du golfe, la production de brouillards côtiers est favorisée par le contact des masses d'air chaud provenant de l'intérieur du continent et/ou de l'Atlantique Nord avec les eaux froides du courant du Labrador, et qu'un contraste thermique prononcé entre l'air et de l'eau accroît la formation de brouillard (section 1.3).

Jusque vers 7000 ans AA, il existait un contraste thermique plus grand qu'aujourd'hui entre le territoire de la forêt boréale du centre du Canada et celui du Labrador (figure 18c; Viau et Gajewski 2009). À cette époque, dans le centre du Canada (50–68° N., 80–120° O.), la température de juillet était plus chaude qu'aujourd'hui (anomalie positive d'env. 2 °C), alors qu'au Labrador (50–58° N., 56–65° O.), elle s'avérait plus froide (anomalie négative d'au moins –2 °C). Comme pour l'écart de la MTWA observé entre les pessières et sapinières de l'ouest et de l'est du Québec (figure 15a), le contraste thermique entre le centre du Canada et le Labrador s'explique en grande partie par la proximité des sites à la calotte glaciaire. Les sites du Labrador et des pessières du Québec ont été déglacés plus tard que ceux du centre du Canada et des sapinières. À cela s'ajoutent l'insolation estivale et les conditions des eaux de surface le long des marges orientales canadiennes (voir ci-dessous).

À la même époque, un fort contraste thermique existait également dans le secteur du golfe du Saint-Laurent et de la mer du Labrador (figure 18b). Dans le secteur central de la mer du Labrador (sites CC04 et MD2227; annexe 12b), les eaux de surface estivales étaient plus chaudes qu'aujourd'hui (anomalie d'env. +2 °C), alors qu'en marge de la mer du Labrador et dans le golfe du Saint-Laurent (sites HU021, HU006 et COR42; annexe 12a), elles s'avéraient plus froides (anomalie négative d'au moins –4 °C). Dans la baie de Baffin et dans le nord de la mer du Labrador, le couvert de glace de mer était plus étendu qu'aujourd'hui jusque vers 7500 ans AA, soit jusqu'à ce que les eaux chaudes de l'Atlantique Nord y pénètrent et se mélangent à celles du courant ouest-groenlandais (Gibb *et al.* 2015).

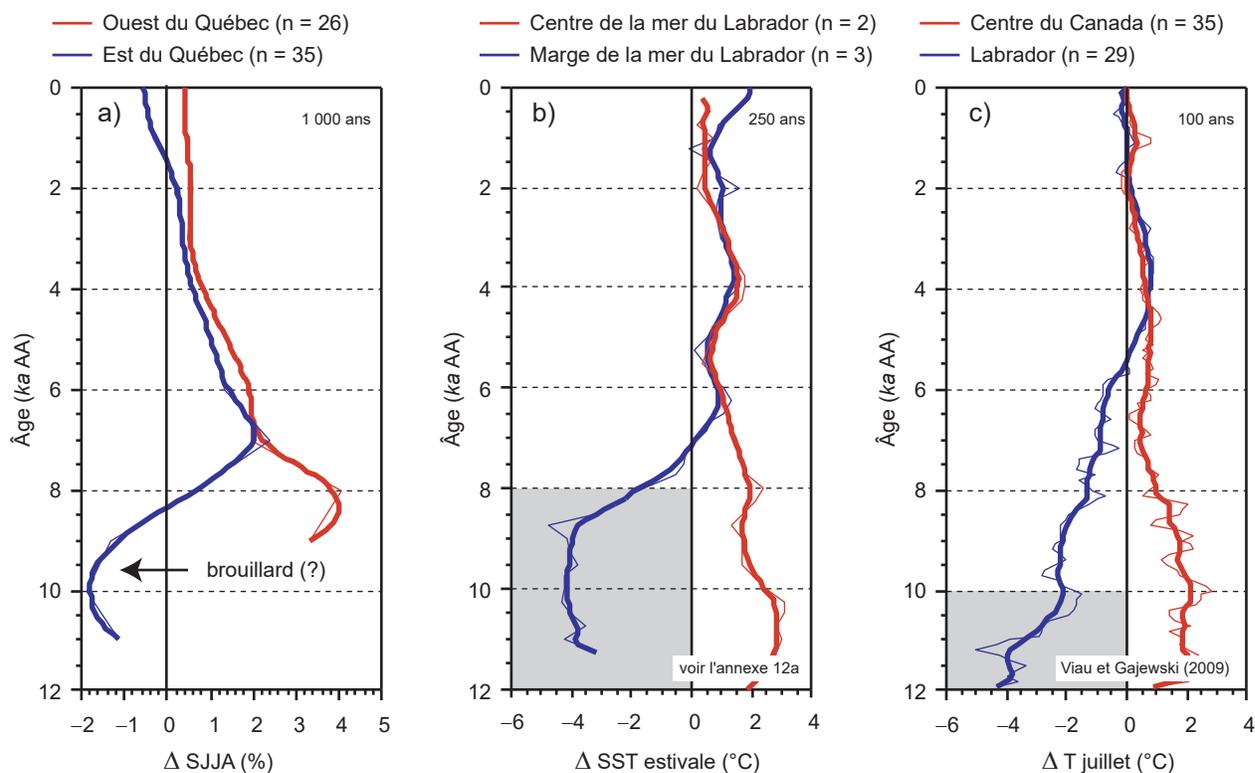
Jusque vers 7000 ans AA, ces importants contrastes thermiques (figures 18b et 18c) ont fort probablement permis une plus grande interaction océan-atmosphère dans le secteur du golfe. À son tour, ce gros transfert de chaleur et d'humidité a sans doute favorisé la formation de brouillards denses. L'anomalie négative du SJJJ observée dans l'est du Québec s'expliquerait donc par la prévalence de brouillards le long des marges continentales.

La plus grande hétérogénéité spatiale de la température estivale des eaux de surface, à travers la mer du Labrador (figure 18c), a aussi pu favoriser la formation de nuages de basse altitude (stratocumulus) et refroidir le climat. En effet, Zhou *et al.* (2016) ont montré l'effet important de la répartition des anomalies de la température des eaux marines de surface sur la formation de nuages et le budget énergétique de la Terre. Ils ont démontré comment le réchauffement inégal des eaux de surface du Pacifique a perturbé les conditions atmosphériques. Cette plus grande nébulosité, combinée à la fréquence accrue de brouillards le long des marges orientales canadiennes, a sans doute « bloqué » le rayonnement solaire et contribué au refroidissement observé de 10000 à 9000 ans AA. À cet égard, rappelons que ce refroidissement est bien marqué dans la région GSL (figure 17b) et dans le centre-nord de la mer du Labrador (figure 17c), mais qu'il est peu détectable ou absent de la région NGSL (figure 17a) et du centre du Canada (figure 18c).

#### 4.2.5 Une période charnière : 8000 ans AA

À l'échelle de l'est du Canada, un changement climatique majeur est survenu entre 8000 et 7000 ans AA. Il a touché à la fois l'ensoleillement estival (SJJJ) de l'est et de l'ouest du Québec, la température estivale des eaux de surface (SST estivale) en marge et dans le centre de la mer du Labrador, et la température de juillet dans la forêt boréale du centre du Canada et du Labrador. Partout, on observe une diminution du contraste entre les régions (figure 18). La salinité a augmenté dans les eaux de surface de la mer du Labrador à cause de la pénétration des eaux de l'Atlantique Nord, et le couvert de glace persistait moins longtemps pendant l'année en raison de la diminution des apports d'eau de fonte glaciaire (Gibb *et al.* 2015, Sheldon *et al.* 2015). À cette époque, seul le centre-nord du Québec (au-delà de la latitude 52° N.) était toujours englacé (figure 3).

Entre 8000 et 7000 ans AA, la végétation a changé à travers l'ensemble des pessières et sapinières du Québec (voir la figure 21 présentée à la section 4.5). Dans les paysages des sapinières (SBb et SBj) actuelles du Québec, les espèces boréales comme



**Figure 18.** Comparaison de l'évolution postglaciaire de l'ensoleillement estival (SJJJA) de l'est et de l'ouest du Québec, de la température des eaux de surface (SST) en été observée au centre de la mer du Labrador et de sa marge, et de la température de juillet ( $T_{\text{juillet}}$ ) au centre du Canada et du Labrador. Le résultat du SJJJA (a) est présenté par tranches de 1000 ans (voir la figure 15), celui de la SST estivale, (b) par tranches de 250 ans, et celui de la température observée en juillet (c), par tranches de 100 ans. Tous les résultats sont exprimés en anomalie par rapport à la valeur actuelle ( $\Delta$ ). Dans les graphiques, le trait épais est une courbe lissée à travers les points. La reconstitution de la SST estivale est basée sur la méthode des analogues modernes appliquée aux assemblages de kystes de dinoflagellés et celle de la  $T_{\text{juillet}}$  est basée sur la même technique, mais appliquée aux assemblages polliniques. En (b), la courbe synthèse de la SST estivale au niveau du centre de la mer du Labrador est basée sur 2 sites (CC04 et MD2227) et celle de sa marge, sur 3 sites (HU021, HU006 et COR42). La méthodologie employée pour l'interpolation des données paléocéanographiques des sites aux 250 ans et la création d'une courbe synthèse par région est décrite à la section 2.4.2. Les courbes individuelles des 5 sites marins, leur emplacement sur une carte, tout comme le nom complet des carottes et les publications associées, sont livrés à l'annexe 12. En (c), la courbe synthèse de la  $T_{\text{juillet}}$  au niveau du centre du Canada est basée sur 35 sites, répartis entre 50° et 68° N. de latitude et entre 80° et 120° O. de longitude, et celle du Labrador sur 29 sites, répartis entre 50° et 58° N. de latitude et entre 56° et 65° O. de longitude. Les données de ces courbes synthèses de la  $T_{\text{juillet}}$  sont tirées de Viau et Gajewski (2009), et l'emplacement des sites sur une carte est présenté dans la publication. En (b) et (c), la portion de la courbe dans une zone grisée doit être interprétée avec prudence, car elle est basée sur un nombre moindre de sites. Pour la SST estivale au niveau de la marge de la mer du Labrador (b), seul le site HU006 dispose de données pour les premiers millénaires (voir l'annexe 12a). Pour la section de courbe de la  $T_{\text{juillet}}$  du Labrador antérieure à env. 10000 ans AA (c), voir Viau et Gajewski (2009).

l'épinette noire et le sapin ont diminué graduellement au profit d'espèces plus thermophiles, comme le pin blanc. Dans l'ouest du Québec, le pin blanc faisait davantage partie des paysages de la forêt tempérée mixte. Nous expliquons cette augmentation par la plus grande luminosité qui découle de la prévalence d'un régime zonal de circulation atmosphérique et de forts vents d'ouest (Fréchette et al. 2018). Dans l'est du Québec, nos reconstitutions climatiques mettent en évidence que le nombre d'heures d'ensoleillement

estival a augmenté d'environ 2 % de 8000 à 7000 ans AA, et qu'il était maximal à 7000 ans AA. Cela laisse aussi entendre que la luminosité était plus forte qu'aujourd'hui et que la circulation zonale était plus intense.

L'excès en deutérium ( $\delta D$ ) dans les molécules d'eau des glaces du Groenland permet de documenter le régime de circulation atmosphérique amphi-atlantique (Masson-Delmotte et al. 2005). Dans cette perspective, il est particulièrement

intéressant de comparer la courbe du SJJA des sites à travers les pessières et sapinières de l'est du Québec et du Labrador méridional (figures 15c et 19b présentées à la section 4.3.2) et celle de l' $\delta D$  au site GRIP (figure 15i). Cette comparaison met en évidence que la tendance des deux courbes est similaire. De plus, à l'échelle des 12 000 derniers ans, une variation (cote Z à valeur positive) de l'excès en deutérium est décelée à partir de 7 500 ans AA, ce qui pourrait refléter un changement dans les conditions atmosphériques générales à l'échelle amphi-atlantique. Depuis 7 000 ans AA, les anomalies d'ensoleillement entre l'est et l'ouest sont similaires (figure 15d), ce qui indique que les conditions atmosphériques actuelles se sont mises en place progressivement. Ce changement dans le régime de circulation atmosphérique est fort probablement lié à la fonte de la calotte glaciaire en Amérique du Nord (figure 15f), qui a permis aux masses d'air en provenance du nord d'atteindre le territoire des pessières et sapinières du Québec et, du même coup, de diminuer le contraste thermique entre les régions. Ainsi, depuis environ 7 500 ans AA, les changements dans les assemblages polliniques des sites de l'est du Québec sont moins prononcés qu'auparavant, et les périodes sont plus longues (voir la chronologie des provinces polliniques à la figure 9, qui est discutée à la section 3.3.2).

### 4.3 Les sapinières de l'est du Québec et le climat avant 8 000 ans AA

À l'échelle des sapinières de l'est du Québec, le début de la phase forestière est centré sur 9 000 ans AA et celui de la phase d'afforestation, vers 11 000 ans AA. C'est vers 8 000 ans AA que les conditions climatiques actuelles se sont mises en place (figure 19a). Jusque vers 8 000 ans AA, un contraste climatique existait entre les régions GSL et NGSL), ce qui expliquerait la prolongation de la phase d'afforestation dans la région GSL (figure 11).

Dans les diagrammes polliniques tracés des sapinières de l'est du Québec, des pics d'abondance se succèdent pour plusieurs taxons à l'époque de l'afforestation : d'abord pour le pollen de *Salix* et de *Betula*, puis pour celui de *Populus* et de *Picea mariana*, et finalement pour celui d'*Alnus crispa*. Vers 10 000 ans AA, la chute abrupte du pollen de *Picea mariana* et la recrudescence de celui d'*Alnus crispa* sont particulièrement marquées dans les sites de la Gaspésie (figures 8f, 8g et 8h pour les secteurs de la SBCG, de la SJNG et de la SJSG, respectivement) et ceux du Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS; figure 8e). Dans les sapinières de l'ouest du Québec, le site MART

de la SBj de la Haute-Mauricie est le seul où l'abondance du pollen de *Picea mariana* chute en même temps que celui d'*Alnus crispa* augmente (voir la figure 14e dans Fréchette *et al.* 2018). Dans la SBj actuelle de l'est du Québec, l'abondance du pollen de *Picea mariana* vers 10 000 ans AA s'élève à environ 40 %, alors qu'elle demeure à environ 20 % au site MART. Vers 9 000 ans AA, l'abondance du pollen d'*Alnus crispa* atteint un maximum d'environ 40 % au site MART, alors qu'il excède 60 % dans l'est du Québec.

Le pic d'*Alnus crispa* est un trait commun à l'ensemble des diagrammes polliniques des sites bordant l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, en Gaspésie et dans le nord du Nouveau-Brunswick (Anderson *et al.* 2007). Dans les sapinières de l'est du Québec, le déclin des épinettes noires au profit des aulnes crispés (10 000–9 000 ans AA) reflète une « pause » dans l'afforestation, et fort probablement, un changement climatique régional relativement rapide. En haute Gaspésie (secteur de la SJNG), la fin de la représentation maximale de l'aulne crispé vers 8 000 ans AA (figure 19e : site JARX) marque la reprise de la succession végétale et le début des forêts. Sur le plateau de la Gaspésie (secteur de la SBCG) et au Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS), la succession reprend près de 1 000 ans plus tôt, vers 9 000 ans AA (figures 19f et 19g : sites TRIANG et MORO), alors que dans la baie des Chaleurs (secteur de la SJSG), elle a repris encore plus tôt, vers 9 500 ans AA (figure 19h : site CARIB).

Sur le plateau de la Gaspésie (secteur de la SBCG), la régression des populations d'épinette noire a été expliquée par une plus grande **incidence des feux** de forêt en raison d'un climat plus sec et orageux (Asnong et Richard 2003, Richard et Labelle 1989). En contrepartie, en haute Gaspésie (secteur de la SJNG), cet événement a plutôt été interprété comme un épisode de **refroidissement** du climat (Marcoux et Richard 1995). Marcoux et Richard (1995) ont également proposé qu'un contraste thermique plus grand qu'aujourd'hui entre la température de l'air et de l'eau du golfe ait provoqué une **production accrue de brouillards maritimes** et ainsi favorisé l'aulne crispé, une espèce supportant bien les embruns marins.

#### 4.3.1 Feux de forêt

À l'échelle du Québec (pessières, sapinières et érablières), l'Holocène inférieur (de 11 700 à 8 300 ans AA) est caractérisé par une forte incidence des feux, l'Holocène moyen (de 8 300 à 4 200 ans AA), par une diminution de leur fréquence

et l'Holocène supérieur (4200 à l'actuel), par un retour à une forte incidence des feux depuis environ 3000 ans AA (Carcaillet et Richard 2000).

Dans les sédiments du site TRIANG, les charbons de bois de taille microscopique sont particulièrement abondants de 10000 à 9000 ans AA (Asnong et Richard 2003). Richard et Labelle (1989) ont proposé que pendant que les épinettes régressaient à la suite du passage répété des feux, l'aulne crispé se soit multiplié en raison d'une ouverture du couvert forestier.

Vers 7000 ans AA, on observe un minimum dans l'incidence des feux de forêt au Québec et en Nouvelle-Angleterre (figure 19c; Marlon et al. 2013). Plus précisément leur incidence décroît de 9500 à 7000 ans AA, puis elle augmente jusqu'à nos jours. Les tendances semblables montrées par la courbe des charbons de bois et celle du SJJJA de l'est du Québec (figure 19b) laissent entendre qu'il existe un lien entre l'incidence croissante des incendies et les conditions atmosphériques, notamment une baisse de l'ensoleillement. Ce lien, apparemment contre-intuitif, s'expliquerait par l'instabilité des masses d'air, source de la foudre qui déclenche les incendies (Carcaillet et Richard 2000). Cette instabilité a été maximale au début de l'époque postglaciaire, et elle s'est aussi maintenue durant les 7000 derniers ans.

#### 4.3.2 Apports d'eau douce et refroidissement

De 10000 à 9000 ans AA, le climat s'est refroidi momentanément dans le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (figure 17b, région GSL). Dans les diagrammes polliniques des sites bordant le golfe, ce refroidissement est marqué par la chute du pollen de *Picea mariana* et la recrudescence de celui d'*Alnus crispa* (figure 19e à h). Plus en amont du golfe et plus à l'intérieur des terres (région NGSL), le climat estival continuait de se réchauffer; aucun refroidissement notable n'a été observé de 10000 à 9000 ans AA. Dans le secteur du golfe Saint-Laurent, le refroidissement du climat peut s'expliquer par la présence de la mer de Goldthwait et les apports accrus d'eau de fonte glaciaire et la vidange du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway dans le fleuve. Ces apports ont eu pour effet de prolonger la durée du couvert de glace de mer saisonnière dans le golfe et le long de la côte du Labrador et ont contribué au refroidissement du climat maritime.

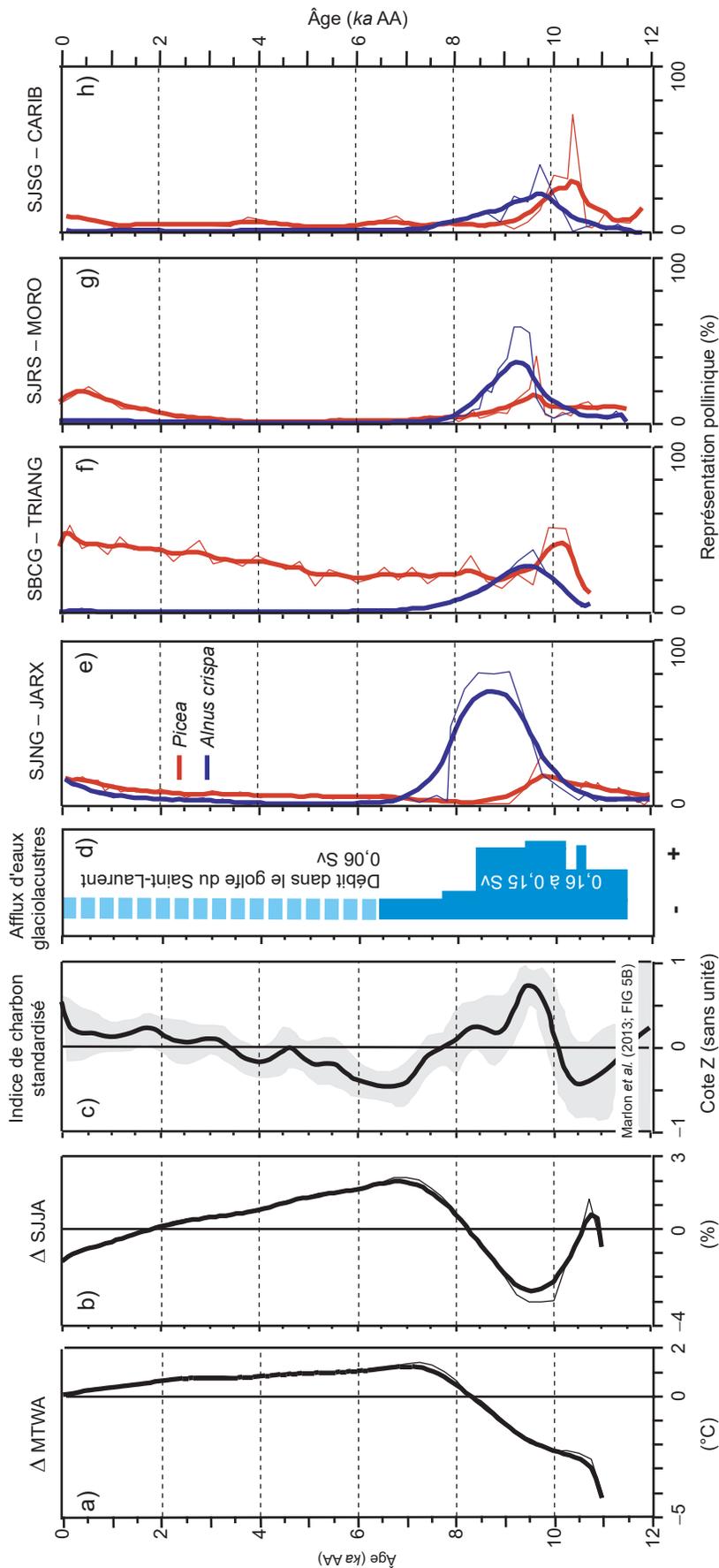
À l'échelle des sapinières de l'est du Québec, la température estivale était plus froide qu'aujourd'hui jusque vers 8000 ans AA (figure 19a). Jusqu'à cette époque, les plus froides conditions des eaux de surface dans le secteur du golfe et en marge de la

mer du Labrador (figure 18b) expliqueraient l'écart de 1000 ans observé dans le début des forêts entre les régions NGSL (vers 9350 ans AA) et GSL (vers 8250 ans AA, figure 11). Par la suite, la diminution puis l'arrêt des apports d'eau de fonte provenant de la calotte glaciaire dans la mer du Labrador et, du même coup, la moindre persistance d'un couvert de glace saisonnière ont entraîné le réchauffement des eaux côtières (Jennings et al. 2015) et la formation des forêts dans les secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL, secteurs de la PMCN, de la PMSL et de la SJNG).

D'après Anderson et al. (2007), le refroidissement prolongé (vers 11000–8000 ans AA) du climat côtier de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent aurait été causé par les apports accrus d'eau de fonte libérées dans l'Outaouais puis dans le fleuve Saint-Laurent en provenance de l'inlandsis et des diverses phases de vidange du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway. Ces **apports d'eau douce**, particulièrement abondants de 10500 à 8400 ans AA (figure 19d), auraient prolongé la **durée du couvert de glace saisonnière** dans le golfe et entraîné un refroidissement du climat côtier (Anderson et Lewis 1992). Dans le secteur du chenal Notre-Dame, au nord-est de Terre-Neuve, une reconstitution des conditions des eaux de surface à partir des assemblages de kystes de dinoflagellés indique que vers 9500 à 8000 ans AA, le couvert de glace saisonnière était plus important qu'aujourd'hui (Levac et al. 2011). Vers 8500 ans AA, le détournement du drainage du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway vers la baie d'Hudson aurait contribué au réchauffement du climat à travers la région de l'estuaire et du golfe par la cessation des apports d'eaux froides (Anderson et al. 2007). La vidange finale est datée à environ 8300 ans AA (Lewis et al. 2012).

Vers 7500 ans AA, l'étendue restreinte de la calotte glaciaire fait en sorte qu'il n'y a plus d'apport d'eau de fonte ou de vidange dans le fleuve. Le contraste thermique entre l'intérieur du continent et sa marge est alors comparable à celui d'aujourd'hui. La température estivale plus chaude qu'aujourd'hui observée sur le territoire des pessières et sapinières s'explique par la plus forte insolation reçue sur Terre. Les températures plus chaudes ont favorisé l'établissement d'une végétation riche en espèces relativement plus thermophiles, comme le pin blanc.

La fonte de la calotte glaciaire a permis aux masses d'air en provenance du nord d'atteindre le sud, contribuant ainsi à la mise en place des conditions actuelles. Le déclin de l'insolation estivale a refroidi graduellement le climat. La végétation s'est



**Figure 19.** Comparaison de l'évolution postglacière de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) et de l'ensoleillement estival (SJJA) de l'est du Québec et du Labrador méridional avec la biomasse brûlée au Québec, le débit des afflux d'eaux glaciolacustres dans le golfe du Saint-Laurent et la représentation pollinique en pourcentage de *Picea* et d'*Alnus crispa* aux sites JARX, TRIANG, MORO et CARIB. Comparaison de l'évolution postglacière de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) (a) et de l'ensoleillement estival (SJJA) (b) de l'est du Québec et du Labrador méridional avec la biomasse brûlée au Québec (Marlon et al. 2013) (c), le débit des afflux d'eaux glaciolacustres dans le golfe du Saint-Laurent (communication personnelle de C.F. Michael Lewis à Pierre J.H. Richard en 2012 en tant que mise à jour de Anderson et al. 2007) (Sv : vitesse de l'écoulement en  $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) (d) et la représentation pollinique en pourcentage de *Picea* et d'*Alnus crispa* aux sites JARX (e), TRIANG (f), MORO (g) et CARIB (h). En (a) et (b), le résultat de la MTWA et du SJJA est présenté par tranches de 250 ans et il est exprimé en anomalie par rapport à la valeur actuelle ( $\Delta$ ). Les courbes synthèses de la MTWA et du SJJA sont basées sur les résultats de 20 sites (GSL, 9 sites; NGSL, 11 sites). Dans le graphique (c), le résultat de la biomasse brûlée (indice de charbon standardisé, en anglais : *standardized charcoal index*) est exprimé sous la forme d'une cote Z. La courbe illustrée est basée sur une moyenne mobile avec une fenêtre de 500 ans et la zone grisée représente l'intervalle de confiance de 95 % (*bootstrapped*). Voir la figure 5B dans Marlon et al. (2013) pour plus de détails. Les valeurs de la cote Z (c) sont sans unité. En (a), (b), (e), (f), (g) et (h), a ligne en trait épais est une courbe lissée à travers les points.

adaptée en favorisant les espèces boréales, comme les épinettes noires, au détriment de celles plus thermophiles.

#### 4.3.3 Brouillards

Le refroidissement « momentané » du climat estival observé vers 9000 ans AA dans les régions bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) s'explique par des apports accrus d'eau douce dans le fleuve, la prolongation du couvert de glace saisonnière et les vents catabatiques froids s'écoulant de la calotte glaciaire dont le front méridional se trouve alors sur l'arrière Côte-Nord. En retardant l'établissement des forêts, ce refroidissement du climat côtier a assurément exercé une contrainte sur la dynamique de la colonisation végétale sur le territoire de la région GSL. Jusqu'à vers 8000 ans AA, la persistance d'un climat plus froid qu'aujourd'hui a pu assurer le maintien de l'aulne crispé au détriment de l'épinette noire (Jetté et Richard 1992). Une production accrue de brouillards maritimes a également pu favoriser l'aulne crispé, une espèce bien adaptée aux embruns marins (Marcoux et Richard 1995). Le long de la côte de l'Oregon et de la Californie, l'augmentation de l'abondance du pollen d'*Alnus rubra* observée dans les sédiments marins postglaciaires a été associée à des épisodes de remontées accrues des eaux froides (en anglais, *coastal upwelling*) en été, lesquelles favorisent la production de brouillards (Pisias et al. 2001). D'épais brouillards peuvent expliquer l'abondance de l'aulne crispé dans les secteurs côtiers du bas estuaire et du golfe du Saint-Laurent, de 10000 à 8000 ans AA (figure 19e).

Jusqu'à vers 7500 ans AA, les apports accrus d'eau douce dans le golfe du Saint-Laurent (figure 19d) ainsi que le refroidissement associé des eaux de surface et du climat côtier ont sans doute contribué à « l'édification » des contrastes thermiques observés (a) entre le centre du Canada et les marges est canadiennes, et (b) entre le centre et la marge de la mer du Labrador (figure 18). Dans le secteur du golfe, ceci a pu se traduire par un plus grand échange d'humidité entre l'océan et l'atmosphère et la formation accrue de brouillards côtiers (figure 19b). Quand les épinettes noires ont décliné au profit des aulnes crispés (10000–9000 ans AA), le contraste était très grand, et sans doute maximal, entre la température de l'air dans le centre du Canada et celle de l'eau le long des marges orientales canadiennes. À cette époque, le climat dans le centre du Canada était plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui (Viau et Gajewski 2009), et les grands vents d'ouest étaient plus forts. On peut en déduire qu'il y avait davantage « d'énergie » dans l'atmosphère et que ceci a pu favoriser la foudre et

le déclenchement d'incendies (figure 19c). Le déclin de l'épinette noire au profit de l'aulne crispé sur le territoire bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent pourrait avoir été causé par une combinaison de facteurs, y compris un refroidissement du climat, des incendies plus fréquents, une production accrue de brouillards et une plus grande nébulosité (nuages de basse altitude). Ces deux derniers facteurs ont pu également agir sur l'albédo, bloquer le rayonnement solaire et participer au refroidissement du climat de l'époque. L'ensemble de ces facteurs explique l'écart de 1000 ans observé dans le début des forêts entre les régions GSL et NGSL.

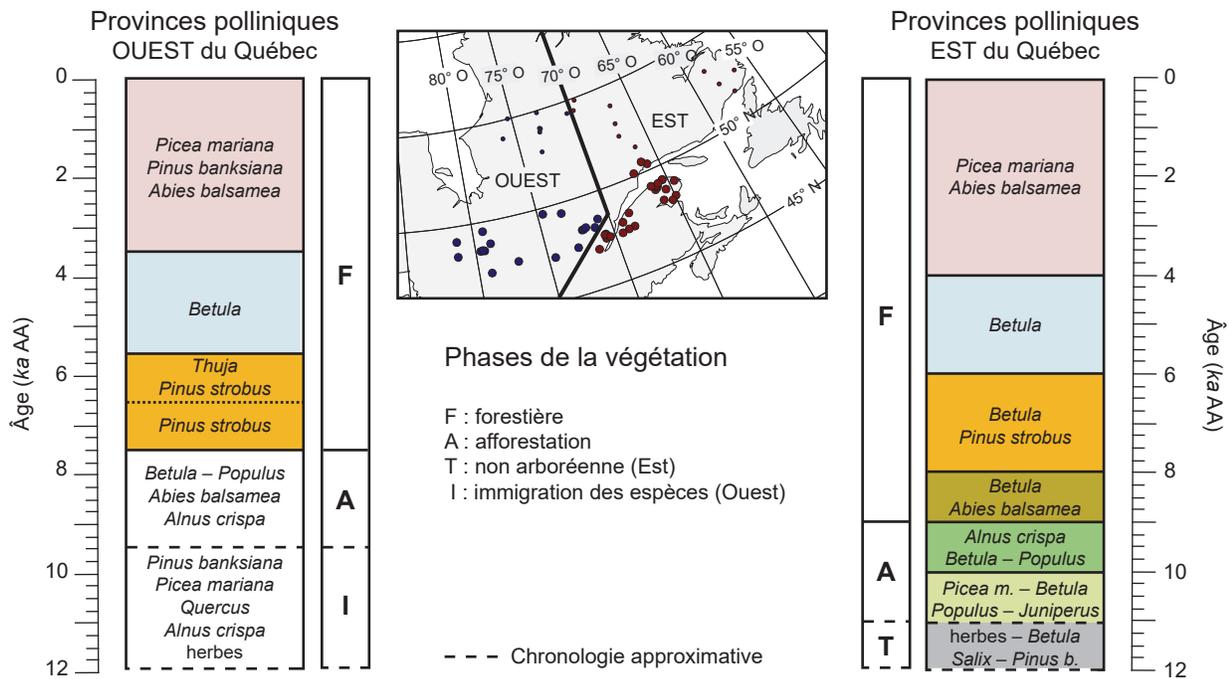
Ces brouillards persistants, notamment de 10000 à 9000 ans AA, auraient été favorables aux aulnes crispés dans les secteurs bordant le golfe et le bas estuaire du Saint-Laurent. Dans le sud du Labrador, ils ont pu également favoriser l'implantation de l'épinette blanche (ZAP à *Picea glauca*, 8400–7800 ans AA; figure 9), une espèce particulièrement fréquente en milieu maritime (Payette 1976).

Jusqu'à vers 8000 ans AA, l'important contraste thermique entre l'air et l'eau aurait été favorable aux orages, à la foudre et aux feux. L'incidence de ces derniers, les apports d'eau de fonte et le refroidissement du climat côtier, tout ceci pourrait s'ajouter à la fréquence accrue d'épais brouillards côtiers pour expliquer le déclin des épinettes noires au profit des aulnes crispés.

#### 4.4 Provinces polliniques postglaciaires

À l'échelle de la PM, de la SBb et de la SBj, nous avons répertorié 7 provinces polliniques dans les diagrammes polliniques de l'est du Québec et 6 dans ceux de l'ouest (figure 20). Rappelons que la dénomination des provinces polliniques s'appuie sur la représentation pollinique de la végétation (taxons clés et indicateurs), et que les genres *Betula* et *Pinus* sont surreprésentés par leur pollen. Ces derniers traduisent donc rarement leur abondance réelle (et bien moindre) dans la végétation. C'est tout particulièrement vrai pour le pollen de *Pinus strobus* et la province pollinique du même nom. Dans les secteurs de hautes altitudes dans l'est du Québec occupés par la SBb (SBNG [Charlevoix/Laurentides] et SBCG [plateau de la Gaspésie]), le pollen de *Pinus strobus* observé dans les sédiments provient assurément de populations situées loin au sud, à de plus basses altitudes.

La comparaison des palynostratigraphies révèle une succession semblable de provinces polliniques depuis environ 8000 ans AA. Les provinces « *Picea mariana – Abies balsamea* », « *Betula* » et « *Pinus strobus* » (y compris « *Thuja – Pinus strobus* »



**Figure 20.** Comparaison de la chronologie moyenne des provinces polliniques de l’ouest et de l’est du Québec, arrondi aux 500 ans. L’emplacement des sites est indiqué sur la carte; seuls ceux représentés par de gros points, appartenant à la PM, la SBb et la SBj, sont pris en compte pour cette comparaison. La comparaison complète de la chronologie de toutes les provinces polliniques de l’est du Québec et du Labrador méridional (voir la figure 9) et de l’ouest du Québec (voir la figure 16 dans Fréchette *et al.* 2018) est donnée à l’annexe 13. La province à « *Alnus crispa* – *Picea glauca* » n’apparaît pas sur l’histogramme représentant les provinces de l’est du Québec, car elle est unique aux sites de la PM du sud du Labrador (PMSL); cela explique pourquoi seulement 7 d’entre elles sont illustrées. Les 2 premières et plus anciennes provinces polliniques observées aux sites de l’est du Québec (1 : herbes – *Pinus banksiana*, 2 : *Betula* – *Salix*) ont été combinées, car elles ne sont pas remarquables chez tous les sites de la PM, de la SBb et de la SBj de l’est du Québec et parce que leur chronologie est approximative. Les trois grandes phases de l’histoire de la végétation de l’est et de l’ouest du Québec (phase non arboréenne [T] ou d’immigration [I] des espèces ligneuses, phase d’afforestation [A] et phase forestière [F]) sont indiquées. La chronologie de la première phase (antérieure à env. 9500 ans AA dans l’ouest du Québec et à env. 11000 ans AA dans l’est du Québec) est approximative, car le contrôle chronologique (dates au radiocarbone) y est déficient.

dans l’ouest et « *Betula* – *Pinus strobus* » dans l’est) sont communes à presque tous les sites de la PM, de la SBb et de la SBj du Québec (annexe 13). Cela s’explique par la dominance de l’épinette noire et du sapin dans nos forêts boréales ainsi que par la forte surreprésentation pollinique des bouleaux et du pin blanc. Dans l’ensemble, ces 3 provinces commencent 500 ans plus tôt dans l’est en raison d’une déglaciation plus précoce ayant permis une afforestation plus hâtive du territoire.

Les provinces polliniques antérieures à environ 8000 ans AA sont distinctes dans l’est et l’ouest du Québec. Celles à « *Abies balsamea* » (vers 9000–8000 ans AA) et à « *Alnus crispa* » (vers 10000–9000 ans AA) sont caractéristiques de la palynostratigraphie des sites de l’est du Québec. Elles ne sont pas aussi clairement enregistrées dans celle des sites de l’ouest, car le pollen d’*Abies* et d’*Alnus* y était bien moindre, alors que

la représentation de *Populus* était relativement plus importante. Il en va de même pour les deux plus anciennes provinces de l’est; « *Picea mariana* – *Betula* – *Populus* – *Juniperus* » (vers 11000–10000 ans AA) et « herbes – *Betula* – *Salix* – *Pinus banksiana* » (antérieur à env. 11000 ans AA). Dans l’ouest, le pollen des plantes herbacées était peu abondant à la base des diagrammes. C’est généralement *Pinus banksiana* qui dominait les assemblages, en raison d’une afforestation hâtive dès la déglaciation, après la vidange du lac Ojibway ou le retrait de la mer de Tyrrell. Au départ, les apports polliniques du pin gris étaient souvent de sources lointaines, extrarégionales.

Certaines provinces sont propres à l’ouest ou à l’est du Québec et reflètent la nette différenciation spatiale et temporelle de leur couverture végétale. Dans l’ouest, la province « *Thuja* – *Pinus strobus* » (vers 6500–5500 ans AA) est exclusive aux sites de

la PM et de la SBb qui sont situés sur la Grande Ceinture d'Argile de l'Abitibi, et se trouve enclavée dans la province à « *Pinus strobus* ». Dans l'est, la province à « *Betula – Pinus strobus* » n'est observée ni dans le secteur de la PL de l'ouest du Labrador (PLOT) ni dans ceux de la PM de la Côte-Nord (PMCN) et du sud du Labrador PMSL. Dans ce tout dernier, la province à « *Picea glauca – Alnus crispa* » (vers 8 500–8 000 ans AA) est unique (figure 9).

À l'échelle de la PM, de la SBb et de la SBj de l'est du Québec, la durée des provinces augmente graduellement de la plus ancienne à la plus récente (tableau 4), sauf pour la première province pollinique (antérieure à env. 11 000 ans AA). En moyenne, cette durée est d'à peu près 2 000 ans, mais l'augmentation dans le temps indique que des changements sont survenus de moins en moins souvent dans la composition de ces forêts. La végétation actuelle s'est mise en place il y a environ 4 000 ans et depuis lors, elle est relativement stable. Dans l'ouest du Québec, les changements ont eu lieu plus régulièrement, à peu près tous les 2 000 ans.

La durée de plus en plus longue des provinces polliniques dans l'est et la stabilité relative de la végétation depuis 4 000 ans AA pourraient résulter de la surreprésentation des bouleaux arborescents. Ces essences produisent beaucoup de pollen et masquent en quelque sorte l'abondance réelle des autres espèces, notamment celles moins bien représentées par leur pollen. Toutefois, la comparaison des courbes du TAP et du pourcentage de *Picea mariana* et d'*Abies balsamea* de 4 sites datés (MAIN, MORO, TRIANG, BOUCHX) permet de voir que les principaux changements sont relativement synchrones et de même ampleur (annexe 14). Puisque la valeur du TAP de *Picea mariana* et d'*Abies balsamea* d'un échantillon n'est pas affectée par la surabondance du pollen de *Betula* dans un assemblage et que les principaux changements d'abondance sont survenus sensiblement à la même époque, l'allongement progressif des provinces polliniques dans l'est du Québec semble donc bien réel.

## 4.5 Phases de la végétation postglaciaire

### 4.5.1 Phase non arboréenne

La phase non arboréenne de la végétation est clairement identifiée dans les diagrammes des sites de la PM, de la SBb et de la SBj de l'est du Québec (figure 21). Par contre, ce n'est pas véritablement le cas dans ceux de l'ouest, pour lesquels les assemblages polliniques à la base des diagrammes témoignent soit de l'immigration des espèces végétales au sud du territoire, soit du tout

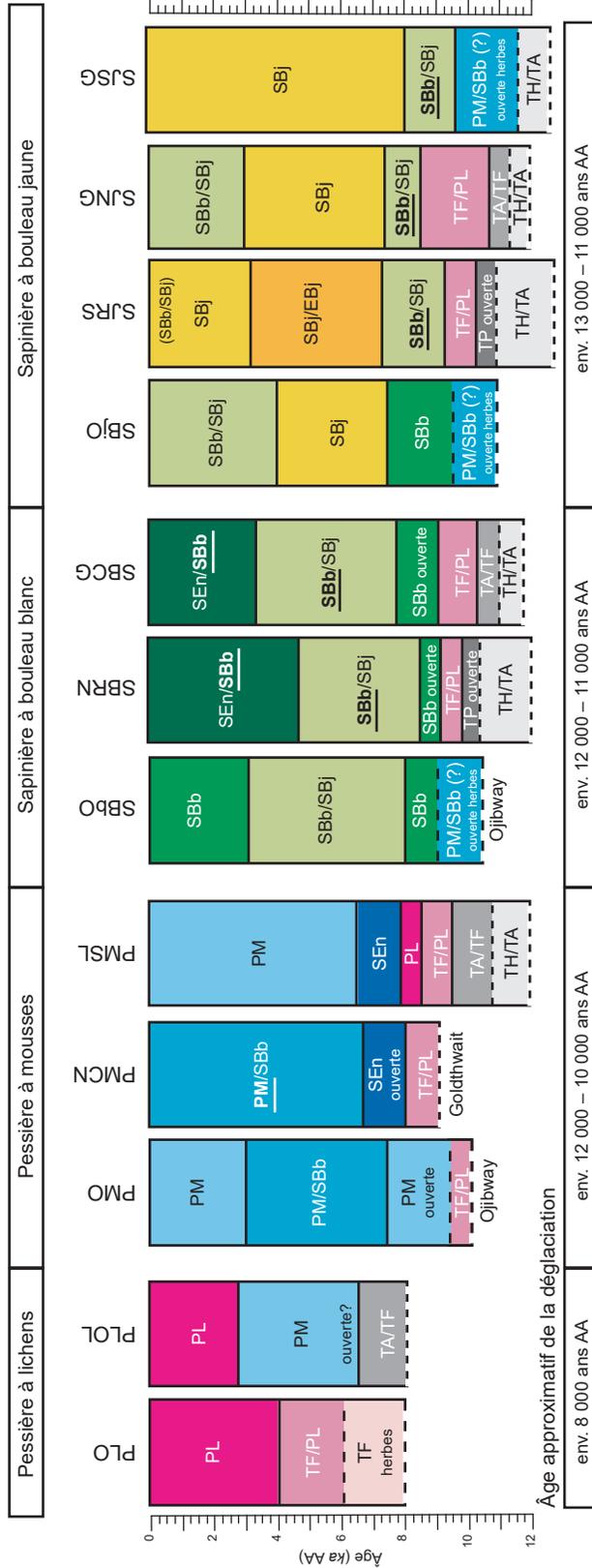
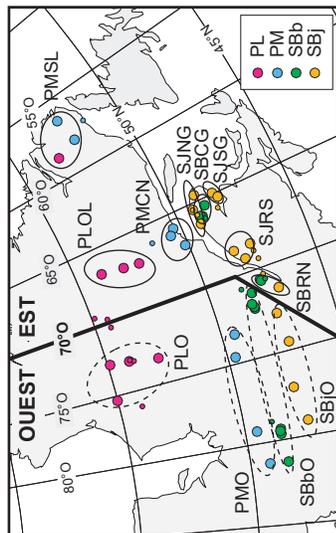
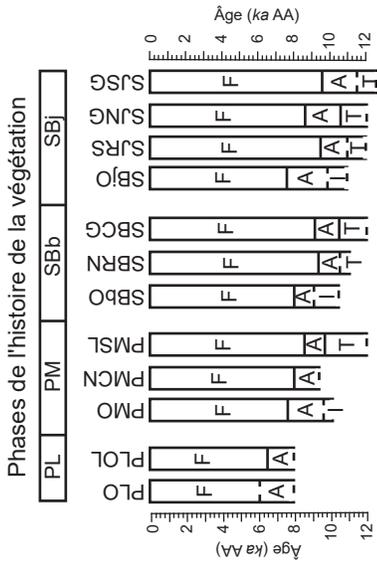
début de la phase d'afforestation. À cette époque (antérieure à env. 9 500 ans AA), une partie de la PM et de la SBb de l'ouest du Québec, en particulier le territoire de l'Abitibi, était inondée par les eaux du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway. Les apports polliniques enregistrés dans les sédiments provenaient donc d'une végétation relativement lointaine. Au Témiscamingue, juste au sud, des chênes auraient vraisemblablement migré très tôt avec les éléments de la flore arborescente boréale et en présence d'espèces typiques de la toundra (Richard et al. 1989). Ce mélange floristique caractérise quelques dizaines de sites alors insulaires, aujourd'hui confinés aux hauts versants et aux sommets des collines. Pour sa part, l'exondation des terres basses a eu lieu vers 8 300 ans AA (7 500 <sup>14</sup>C ans AA; Lewis et al. 2012).

À travers le territoire des pessières modernes du Québec et du Labrador méridional, seuls les sites de la PM du sud du Labrador (secteur de la PMSL), déglacés vers 12 000 ans AA, présentent des assemblages polliniques typiques de la phase non arboréenne (figure 21). Dans les sapinières de l'est du Québec, tous les sites de la SBb et de la SBj modernes possèdent des assemblages polliniques associés à la phase non arboréenne de la végétation (antérieure à env. 11 000 ans AA). Par contraste, dans les sapinières de l'ouest du Québec (SBjO et SBbO), les assemblages basaux (antérieurs à env. 9 500–9 000 ans AA) témoignent plutôt de l'immigration hâtive d'arbres épars ou du début de la phase d'afforestation (figure 21).

### 4.5.2 Phase d'afforestation

L'âge du début de l'afforestation est asynchrone à travers la PM, la SBb et la SBj, en grande partie à cause de la chronologie de la déglaciation (figure 3). L'âge correspondant à l'afforestation des pessières et sapinières du Québec est approximatif, mais il est probablement antérieur à 11 000 ans AA dans l'est et à 9 500 ans AA dans l'ouest, notamment à travers les sites de la SBj, c'est-à-dire les plus méridionaux (figure 21). Dans l'ensemble, la durée de la phase d'afforestation est d'environ 2 000 ans (vers 11 000–9 000 ans AA dans l'est et 9 500–7 500 ans AA dans l'ouest), mais elle varie plus dans l'est du Québec.

À l'échelle de la PM moderne du Québec et du Labrador (env. 49–52° N.), l'âge du début de l'afforestation est centré sur environ 9 000 ans AA et sa fin, sur 8 000 ans AA (figure 21). Dans la PL (env. 52–55° N.), cet âge est incertain, mais probablement postérieur à 8 000 ans AA. Dans le secteur de la PMSL, l'afforestation est datée entre 9 500 et 8 500 ans AA. Son début tardif par rapport à l'âge de la déglaciation (vers 13 000–11 000 ans AA) peut



**Figure 21.** Comparaison de la végétation postglaciaire de l'est et de l'ouest du Québec à l'échelle des domaines bioclimatiques. La reconstitution de la végétation postglaciaire pour l'ouest du Québec est tirée de Fréchette et al. (2018; figure 18). L'emplacement des sites retenus est illustré sur la carte. La reconstitution de la végétation pour l'ouest du Québec est basée sur un total de 26 (voir Fréchette et al. 2018), tandis que pour l'est du Québec et le Labrador méridional, elle l'est sur un total de 35 (présente étude). Sur la carte, les cercles plus petits désignent les sites exclus pour reconstituer la végétation postglaciaire. L'âge approximatif de la déglaciation du territoire pour les différents domaines bioclimatiques est fourni sous les histogrammes de la végétation reconstituée (voir la figure 3 pour plus de détails). La comparaison de la chronologie des trois phases de l'histoire de la végétation des différents secteurs est présentée en haut à droite (phase non arboréenne [T] ou d'immigration [I] des espèces ligneuses, phase d'afforestation [A] et phase forestière [F]). Dans les histogrammes associés à la végétation de l'est du Québec, lorsque deux végétations sont jumelées, par exemple TF/PL, le nom de celle ayant prévalu est en caractères gras et souligné.

s'expliquer par les rigueurs du climat maritime de l'époque induites par les conditions des eaux de surface dans le golfe du Saint-Laurent et à la marge de la mer du Labrador (figure 18b). Dans la PM de l'ouest du Québec (PMO), l'afforestation débute sensiblement à la même époque que dans le sud du Labrador, mais se termine plus tard (7 500 ans AA) en raison de l'inondation préalable des terres par les eaux du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway. Sur le territoire du secteur de la PMCN, la fin de l'afforestation est datée à environ 8 000 ans AA, donc légèrement plus tard que dans le sud du Labrador. Cela s'explique par la submersion du secteur côtier par la mer de Goldthwait jusque vers 7 500 ans AA (Ouellet et Richard 2017). Sur le territoire des sapinières modernes du Québec (env. 47–49° N.), l'âge moyen du début de l'afforestation est estimé à environ 10 500 à 9 000 ans AA pour la SBb et à environ 11 000 à 9 500 ans AA pour la SBj.

#### 4.5.3 Phase forestière

Dans l'ensemble, la végétation du début de la phase forestière était plus diversifiée que celle d'aujourd'hui (figure 21). Sur le territoire des pessières actuelles du Québec et du Labrador, l'âge du début de cette phase est relativement uniforme à travers la PL, mais plus asynchrone à travers la PM (figure 21). Dans la PL de l'ouest du Québec (PLO) et dans le secteur de la PLOL, la constitution des forêts remonte à environ 6 500–6 000 ans AA. Dans la PMO et dans le secteur de la PMCN, les premières forêts se sont formées plus tôt, vers 8 000–7 500 ans AA. Dans le sud du Labrador (secteur de la PMSL), elles sont présentes depuis à peu près 8 500 ans AA.

À l'échelle des sapinières modernes, l'âge du début de la phase forestière est relativement uniforme à travers la SBbO et la SBjO (figure 21). En revanche, il est plus asynchrone dans l'est, particulièrement de part et d'autre de la péninsule gaspésienne (secteurs de la SJNG et de la SJSG; figure 21). Contrairement à l'écart observé pour le début de la phase forestière entre la PL et la PM, il n'y a pas de différence marquée entre la SBb et la SBj (figure 21). Dans les sapinières modernes de l'ouest du Québec (SBbO et SBjO), les premières forêts se sont formées entre 8 000 et 7 500 ans AA. Dans le secteur de la baie des Chaleurs (SJSG), le début de la phase forestière est centré sur 9 500 ans AA, alors qu'en haute Gaspésie (secteur de la SJNG), c'est un peu plus tard, vers 8 500 ans AA, soit sensiblement à la même époque que dans le sud du Labrador (secteur de la PMSL : 8 500 ans AA) et en Côte-Nord (PMCN : vers 8 000 ans AA). Les conditions maritimes de surface du golfe du Saint-Laurent et à la marge de la

mer du Labrador jusque vers 7 500 ans AA peuvent expliquer ce retard. Ailleurs, à travers les sapinières de l'est du Québec, les premières forêts se sont formées entre 9 500 et 9 000 ans AA.

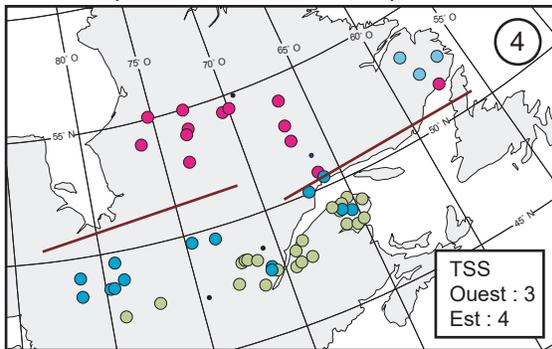
#### 4.6 Dynamique spatiale de la végétation millénaire

Tant pour les pessières que pour les sapinières boréales, la reconstitution de la végétation millénaire en termes de domaines de végétation analogues aux domaines actuels diffère légèrement de celle de la figure 21 qui, elle, est dérivée de la comparaison des palynostratigraphies postglaciaires (figure 9 pour l'est du Québec) et de la signature pollinique des domaines et sous-domaines bioclimatiques actuels (figure 6 pour l'est du Québec). Les assemblages polliniques inclus dans une tranche d'âge millénaire de sédiments peuvent différer. Dans le cas de la végétation millénaire, la reconstitution est donc fondée sur un assemblage pollinique moyen par tranche de 1 000 ans de sédiment, qui peut inclure des assemblages appartenant à deux ZAP différentes. À l'inverse, la reconstitution basée sur les ZAP était fondée sur une suite d'assemblages polliniques comparables.

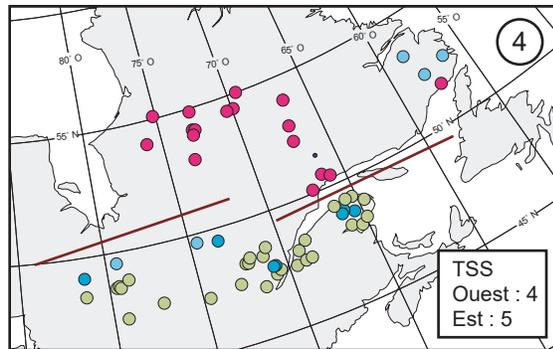
La figure 22 permet de comparer la répartition des végétations millénaires à travers le territoire des pessières et sapinières actuelles de l'est et l'ouest du Québec à 8 000, 6 000, 4 000 et 2 000 ans AA par rapport à aujourd'hui. Pour ce faire, nous avons reporté sur une même carte les végétations millénaires reconstituées dans l'est (figure 14) et dans l'ouest du Québec (voir les figures 22 et 23 dans Fréchette *et al.* 2018). L'examen des cartes permet de déceler les gradients de composition et de structure de la végétation millénaire au Québec. Dans les paragraphes qui suivent, nous commenterons seulement les différences entre la carte du millénaire actuel (500–0 ans AA) et celle de 6 000 ans AA. La comparaison des assemblages polliniques de ces deux fenêtres chronologiques est présentée à l'annexe 15.

De nos jours (500–0 ans AA), la végétation est essentiellement orientée selon les latitudes, sauf pour le massif des Laurentides au nord-est de la ville de Québec et pour la péninsule gaspésienne, où le relief joue un grand rôle. On note d'abord que les domaines bioclimatiques reflétés par les assemblages polliniques actuels des sites sont répartis le long d'un gradient altitudinal. Les 4 domaines de végétation sont reconstitués (PL, PM, PM/SBb et SBb/SBj). L'effet de l'altitude y est aussi décelé, tant en Gaspésie que dans le massif des Laurentides au nord-est de la ville de Québec. Les sites de la basse

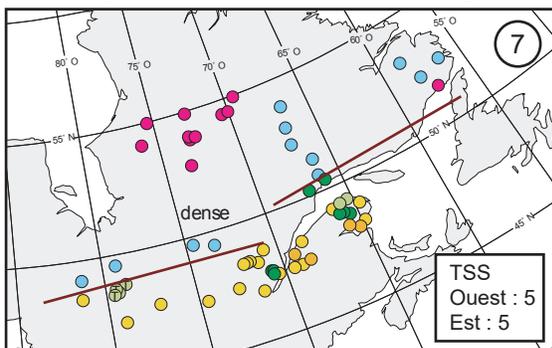
Actuel (500 – 0 années AA)



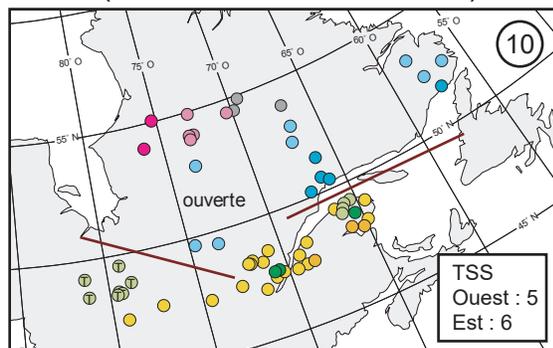
2 000 (2 500 – 1 500 années AA)



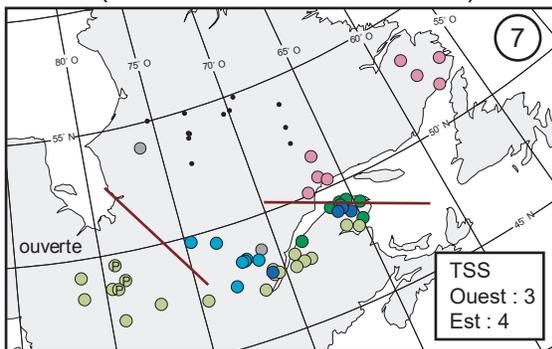
4 000 (4 500 – 3 500 années AA)



6 000 (6 500 – 5 500 années AA)



8 000 (8 500 – 7 500 années AA)



- |          |                     |
|----------|---------------------|
| ● TA/TF  | ● SBb               |
| ● TF/PL  | ● SBb/SBj           |
| ● PL     | ● SBb/SBj – Thuja   |
| ● PM     | ● SBb/SBj – Populus |
| ● PM/SBb | ● SBj               |
| ● SEn    | ● SBj/EBj           |

**Figure 22.** Comparaison de la répartition des végétations millénaires à travers l’est et l’ouest du Québec à 0, 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA. Le résultat de la reconstitution de la végétation millénaire pour l’est du Québec et le Labrador méridional (figure 14) est comparé à celui pour l’ouest du Québec (voir la figure 22 dans Fréchette *et al.* 2018). La valeur correspondant à la somme totale des carrés en écart avec la moyenne (TSS) associée au dernier groupement des assemblages des sites de l’est et de l’ouest du Québec séparément est fournie dans le coin inférieur droit des cartes. La valeur de la TSS est sans unité. Le nombre de végétations reconstituées est livré dans le coin supérieur droit. Le trait épais marron sur les cartes réfère au dernier groupement.

Côte-Nord reflètent pour leur part le caractère subarctique du climat côtier, puisqu’il s’agit d’une végétation associée à la PL.

Durant le sixième millénaire avant aujourd’hui (6 500–5 500 ans AA), les domaines de végétation reflétés par les assemblages polliniques différents de ceux d’aujourd’hui. La végétation des sites occupés par les pessières actuelles se distingue davantage de celle des sites occupés aujourd’hui

par les sapinières (annexe 15). À l’époque, la pruche du Canada et les chênes étaient plus abondants dans le territoire des sapinières actuelles. En outre, le thuya occidental abondait au sein des sapinières en Abitibi. Enfin, des types de végétation contrastés pouvaient se côtoyer tandis qu’aujourd’hui, ils sont plus uniformes à une latitude et une longitude données (figure 22). Le résultat de la reconstitution indique la présence, il y a 6 000 ans, de 10 types de végétation (domaines bioclimatiques

et combinaisons), ce qui traduit une plus grande diversité que de nos jours, alors qu'on en trouve seulement 4.

Dans l'ouest du Québec, Fréchette *et al.* (2018) ont mis en lumière l'existence de gradients de composition et de structure de la végétation qui ont changé dans le temps de 8000 ans AA à aujourd'hui. Actuellement, la végétation de ce secteur occidental des pessières et des sapinières du Québec est essentiellement orientée selon les latitudes, en fonction du gradient de la température.

Par contraste, avant 5000 ans AA, elle était plutôt répartie d'ouest en est, probablement selon un gradient pluviométrique ou d'ensoleillement. Dans l'est du Québec et au Labrador méridional, les cartes de la répartition de la végétation millénaire depuis le début de la période postglaciaire n'indiquent pas de gradient d'ouest en est, mais plutôt une répartition en lien avec la latitude, l'altitude et la proximité au golfe du Saint-Laurent.



## Conclusion

Cette étude dresse un portrait de la dynamique de la végétation et du climat postglaciaires des sous-domaines orientaux de la pessière à lichens, de la pessière à mousses, de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune du Québec et du Labrador méridional. Deuxième d'une série de trois études sur les données polliniques du Québec, elle complète la synthèse portant sur l'histoire de la végétation et du climat postglaciaires des pessières et sapinières de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018). Elle permet donc de compléter le portrait de la dynamique forestière à long terme de l'ensemble de la forêt boréale du Québec et du sud du Labrador. Les résultats du présent mémoire illustrent, entre autres, l'importance de considérer pleinement les changements dans les conditions de surface de la mer du Labrador et du golfe du Saint-Laurent pour expliquer la dynamique forestière postglaciaire des sites influencés par leur proximité du milieu marin.

La méthodologie utilisée pour la synthèse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat à travers l'est du Québec et le Labrador méridional a contribué à l'avancement des connaissances à plusieurs égards :

- 1- Nous avons reconstitué la végétation et le climat postglaciaires à partir d'un plus grand nombre de sites (35), toujours par l'approche numériquement fondée développée par Fréchette *et al.* (2018) et qui s'appuie sur la méthode des analogues modernes. Cette méthodologie a aussi été utilisée par d'autres pour reconstituer les climats (par exemple, Viau et Gajewski [2009] pour la forêt boréale canadienne, et plus récemment, Ladd *et al.* [2018] pour l'ensemble de l'Amérique du Nord). Notre traitement permet donc de préciser les gradients climatiques des auteurs précités sur le territoire de la Boréale québécoise.
- 2- Encore une fois, les reconstitutions de la végétation et du climat obtenues par cette méthode se sont révélées fiables, en ce sens que des analogues modernes ont toujours été trouvés parmi les 2418 sites de la base de données correspondante. Toutefois, comme pour l'ouest du Québec, la dissimilarité entre les assemblages postglaciaires et modernes est plus grande dans le sédiment minéral à la base des séquences que dans le sédiment organique supérieur. À titre d'exemple, la

végétation de type TP, présente il y a plus de 10 000 ans sur le territoire de la SBJ actuelle du Bas-Saint-Laurent et à la marge sud du massif des Laurentides, n'existe pas actuellement en tant que domaine bioclimatique au Québec. Cependant, on en trouve une semblable au nord des Prairies canadiennes. Pour le reste, il existe toujours aujourd'hui des végétations dont la représentation pollinique est comparable à celle des végétations qui se sont jadis succédées dans l'est du Québec et au Labrador méridional depuis environ 12 000 ans AA.

- 3- Après avoir segmenté les diagrammes de 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional en ZAP, nous en avons résumé la palynostratigraphie à l'échelle de 8 secteurs géographiques. Cette synthèse s'est révélée encore une fois adéquate pour décrire la dynamique de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques. Huit provinces polliniques postglaciaires ont été distinguées pour le territoire, c'est-à-dire 8 ZAP communes aux 8 secteurs. Ensemble, la synthèse des données polliniques des sites dans l'espace (8 secteurs), puis dans le temps (8 provinces polliniques), a permis de décrire la dynamique spatiotemporelle de la végétation depuis la déglaciation. Malgré la similitude des provinces polliniques entre l'est et l'ouest du Québec, des variations régionales s'observent dans la représentation pollinique de la végétation pour l'ensemble de la forêt boréale. Un lien étroit se révèle aussi entre la chronologie de la déglaciation et les phases du développement de la végétation. En outre, l'effet d'une plus ou moins grande proximité du golfe du Saint-Laurent se manifeste dans les secteurs les plus orientaux de la forêt boréale de l'est. La comparaison de la chronologie des phases a notamment mis en lumière un écart de 1 000 ans quant au début de la phase forestière dans les sites à proximité du golfe du Saint-Laurent (région GSL) et dans ceux plus en amont (région NGSL). Dans les diagrammes, le début plus tardif des forêts dans la région GSL est marqué par la longue durée de la ZAP à *Alnus crispa* associée à la phase d'afforestation.

Malheureusement, le vaste territoire situé entre les sites du secteur Charlevoix/Laurentides (SBRN, sapinières occidentales)

et ceux du secteur de la Côte-Nord (PMCN, pessières occidentales) est encore dépourvu de données polliniques postglaciaires provenant de lacs. C'est aussi le cas du territoire entre les sites du secteur de la PMCN et ceux du secteur du sud du Labrador (PMSL, pessières orientales). Des diagrammes provenant de tourbières sont toutefois disponibles (Lavoie et Filion 2001, Sauvé 2016). De plus, des données polliniques de sites lacustres à proximité du réservoir Manicouagan ont récemment été publiées (Remy *et al.* 2017b). L'échantillonnage de sites lacustres autour de la ville de Baie-Comeau et de la rivière Romaine en Minganie permettrait de combler cette lacune. En particulier, dans le secteur du bas estuaire et du golfe du Saint-Laurent, l'ajout de sites côtiers aiderait à préciser l'étendue du territoire montrant un début tardif des forêts (région GSL, vers 8 250 ans AA) par rapport aux autres sites (région NGSL, vers 9 350 ans AA). Cela permettrait de corroborer l'importance des conditions de surface du golfe sur la dynamique forestière à proximité. L'ajout de sites en Minganie permettrait de préciser l'extension vers l'ouest de la province labradorienne à *Picea glauca*.

4- La présente synthèse a permis de relier les changements spatiotemporels de la végétation de l'est du Québec et du Labrador méridional à ceux du climat, comme nous l'avons fait pour l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018). Par ailleurs, l'illustration de la végétation millénaire sur des cartes a permis d'en étudier les gradients de composition et de structure de la végétation. Les résultats ont révélé une répartition de la végétation en lien avec l'altitude et la proximité du golfe du Saint-Laurent. Dans l'ensemble, le climat du début de la période postglaciaire dans l'est du Québec et au Labrador était plus froid et plus sec qu'aujourd'hui, et le contraste climatique était plus grand entre les secteurs bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (région GSL) et ceux plus en amont et à l'intérieur des terres (région NGSL). Un refroidissement « temporaire », marqué par le déclin de l'épinette noire au profit de l'aulne crispé, est observé dans les secteurs bordant le golfe, de 10 000 à 9 000 ans AA. Il s'expliquerait par une combinaison de facteurs, y compris des apports accrus d'eau de fonte (provenant de la calotte glaciaire) et d'eau de vidange (provenant du lac proglaciaire Agassiz-Ojibway

dans le fleuve via l'Outaouais), une production accrue de brouillards, une plus grande nébulosité (nuage de basse altitude) et des incendies plus fréquents. De 7 500 à 3 500 ans AA, les températures étaient plus chaudes qu'aujourd'hui, et des types de végétation contrastés se côtoyaient. De nos jours, l'uniformité est plus grande à travers le territoire.

5- Nous avons comparé les données polliniques et climatiques de l'est du Québec et du Labrador méridional à celles de l'ouest du Québec (Fréchette *et al.* 2018) afin de décrire la dynamique spatiotemporelle de la végétation à travers toute la forêt boréale et la forêt tempérée mixte du Québec. Cette analyse a révélé un régionalisme du climat dans l'espace et dans le temps qui diffère sensiblement entre l'est et l'ouest du Québec. Dans l'est, on note en particulier la présence d'une phase initiale de végétation non arborescente plus ou moins longue, correspondant à un climat froid de toundra. Une telle phase n'existe pas dans l'ouest du Québec boréal. En outre, en comparant les données climatiques postglaciaires recueillies sur les sites avec (a) les conditions des eaux de surface dans le golfe du Saint-Laurent et la mer du Labrador, et (b) le régime de la circulation atmosphérique amphi-atlantique, nous avons documenté les téléconnexions (couplage océan-atmosphère) du système climatique le long des marges orientales canadiennes. De plus, nous avons précisé le rôle qu'exercent les grands plans d'eau sur la dynamique forestière en général, de même que pour expliquer le début tardif des forêts dans les secteurs bordant le golfe du Saint-Laurent (région GSL) par rapport aux autres (région NGSL).

Nos résultats décrivent ces conditions qui, sur le long terme, ont façonné les paysages végétaux de la Boréale québécoise. Ils révèlent l'essentiel de la réaction de la végétation aux conditions environnementales (climat, incendies) qui se sont succédé sur le territoire depuis la dernière déglaciation. En plus de satisfaire la simple curiosité intellectuelle, ils permettront à l'aménagiste forestier d'approfondir la perspective temporelle requise pour gérer les forêts de façon éclairée. En particulier, concernant les états de référence nécessaires pour mettre en application l'aménagement écosystémique, ils révèlent la variabilité naturelle des forêts du Québec en lien avec les changements climatiques. C'est du moins notre souhait.

## Références bibliographiques

- Ali, A.A., O. Blarquez, M.P. Girardin, C. Hély, F. Tinquaut, A. El Guellab, V. Valsecchi, A. Terrier, L. Bremond, A. Genries, S. Gauthier et Y. Bergeron, 2012. *Control of the multimillennial wildfire size in boreal North America by spring climatic conditions*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 109(51): 20966-20970. <https://doi.org/10.1073/pnas.1203467109>
- Anderson, T.W. et C.F.M. Lewis, 1992. *Climatic influences of deglacial drainage changes in southern Canada at 10 to 8 ka suggested by pollen evidence*. Géogr. Phys. Quat. 46(3): 255-272. <https://doi.org/10.7202/032913ar>
- Anderson, T.W., E. Levac et C.F.M. Lewis, 2007. *Cooling in the Gulf of St. Lawrence and estuary region at 9.7 to 7.2 <sup>14</sup>C ka (11.2–8.0 cal ka): Palynological response to the PBO and 8.2 cal ka cold events, Laurentide Ice Sheet air-mass circulation and enhanced freshwater runoff*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 246(1): 75-100. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.10.028>
- Arseneault, D. et S. Payette, 1992. *A postfire shift from lichen-spruce to lichen-tundra vegetation at tree line*. Ecology 73(3): 1067-1081. <https://doi.org/10.2307/1940181>
- Asnong, H., 2001. *Histoire postglaciaire de la végétation, des feux et des niveaux lacustres en Gaspésie, Québec*. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. Montréal, QC. 186 p.
- 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*. Géogr. Phys. Quat. 57(1): 37-63. <https://doi.org/10.7202/010330ar>
- 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, 2019. *Vegetation zones of Canada: a biogeoclimatic perspective*. [Carte] Échelle 1:5 000 000. Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. Centre de foresterie des Grands Lacs. Sault-Sainte-Marie, ON.
- Bastianelli, C., A.A. Ali, J. Beguin, Y. Bergeron, P. Grondin, C. Hély et D. Paré, 2017. *Boreal coniferous forest density leads to significant variations in soil physical and geochemical properties*. Biogeosciences 14(14): 3445-3459. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3445-2017>
- Berger, A.L. et M.-F. Loutre, 1991. *Insolation values for the climate of the last 10 million years*. Quat. Sci. Rev. 10(4): 297-317. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90033-Q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90033-Q)
- Berger, J.-P. et J. Blouin, 2006. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 5h – Massif gaspésien et 5i – Haut massif gaspésien*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. 205 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-5hi.pdf>
- Bernatchez, P., 2003. *Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouaga-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives*. Thèse de doctorat. Faculté de foresterie et de géomatique, Département de géographie, Université Laval. Québec, QC. 459 p. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/33004>
- Bernatchez, P., 2005. *Déglaciation et variations du niveau marin de la Mer de Goldthwait sur la Côte-Nord*. Rapport présenté dans le cadre du projet du Centre Boréal du Saint-Laurent, Baie-Comeau. 108 p.
- Bernatchez, P., J.-M. Dubois et J.-C. Dionne, 1999. *Les dépôts coquilliers (faluns) holocènes de Baie-Comeau, Côte-Nord de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec*. Can. J. Earth Sci. 36(4): 519-531. <https://doi.org/10.1139/e98-107>
- Birks, H.J.B., O. Henri, H. Seppä et A.E. Bjune, 2010. *Strengths and weaknesses of quantitative climate reconstructions based on late-Quaternary biological proxies*. Open Ecol. J. 3: 68-110. <https://doi.org/10.2174/1874213001003020068>
- Blaauw, M., 2010. *Methods and code for "classical" age-modeling of radiocarbon sequences*. Quat. Geochronol. 5(5): 512-518. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.01.002>

- Blarquez, O. et J.C. Aleman, 2016. *Tree biomass reconstruction shows no lag in postglacial afforestation of eastern Canada*. *Can. J. For. Res.* 46(4): 485-498. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0201>
- Blarquez, O., A.A. Adam, M.P. Girardin, P. Grondin, B. Fréchette, Y. Bergeron et C. Hély, 2015. *Regional paleofire regimes affected by non-uniform climate, vegetation and human drivers*. *Sci. Rep.* 5: 13356. <https://doi.org/10.1038/srep13356>
- Blouin, J. et J.-P. Berger, 2004. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 6c — Plaine du lac Opémisca, 6d — Coteaux du lac Assinica, 6e — Coteaux de la rivière Nastaocano, 6f — Coteaux du lac Mistassini et 6g — Coteaux du lac Manouane*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. 210 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-6cdefg.pdf>
- Boucher, É., A. Nicault, D. Arseneault, Y. Bégin et M.P. Karami, 2017. *Decadal variations in eastern Canada's taiga wood biomass production forced by ocean-atmosphere interactions*. *Sci. Rep.* 7(2457). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02580-9>
- Boucher, Y., D. Arseneault, L. Sirois et L. Blais, 2009. *Logging pattern and landscape changes over the last century at the boreal and deciduous forest transition in Eastern Canada*. *Landsc. Ecol.* 24: 171-184. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9294-8>
- Boucher, Y., M. Bouchard, P. Grondin et P. Tardif, 2011. *Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 161. 21 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/amenagement/registre-etats-reference.pdf>
- Bourgeois-Roy, A., 2015. *Les dépôts coquilliers de Baie-Comeau (Québec, Canada) : Communautés d'invertébrés marins, compositions isotopiques, géochimiques et reconstructions paléo-environnementales*. Mémoire de maîtrise. Faculté des études supérieures et postdoctorales, Département de géographie, Université d'Ottawa. Ottawa, ON. 99 p. <http://dx.doi.org/10.20381/ruor-6799>
- Brisson, J. et A. Bouchard, 2003. *In the past two centuries, human activities have caused major changes in the tree species composition of southern Québec, Canada*. *Écoscience* 10(2): 236-246. <https://doi.org/10.1080/11956860.2003.11682771>
- 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. Chapdelaine et A. Burke (édit.), *De l'archéologie analytique à l'archéologie sociale*. Recherches amérindiennes au Québec. Collection Paléo-Québec n° 34. p. 103-127.
- Bussièrès, B., 1992. *La déforestation subalpine au Mont du Lac à l'Empêche, Charlevoix, Québec*. Thèse de doctorat. Université Laval. 230 p. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/48028>
- Carcaillet, C. et P.J.H. Richard, 2000. *Holocene changes in seasonal precipitation highlighted by fire incidence in eastern Canada*. *Clim. Dyn.* 16: 549-559. <https://doi.org/10.1007/s003820000062>
- Cleland, D.T., J.A. Freeouf, J.E. Keys, Jr., G.J. Nowacki, C. Carpenter et W.H. McNab, 2007. *Ecological subregions: Sections and subsections of the conterminous United States Sloan, A.M.*, cartographe. [CD-ROM] Échelle 1:3500000. U.S.D.A., Forest Service, Washington, DC (États-Unis). General Technical Report WO-76D. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/48672>
- Colpron-Tremblay, J. et M. Lavoie, 2010. *Long-term stand-scale dynamics of a broad mixed forest in Québec, Canada*. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 161(1): 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2010.03.003>

- 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*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers, 35 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Rapport-dynamique-nord-Lac-St-Jean.pdf>
- Davis, M.B., 1963. *On the theory of pollen analysis*. *Am. J. Sci.* 261(10): 897-912. <https://doi.org/10.2475/ajs.261.10.897>
- De Boeck, H.J. et H. Verbeeck, 2011. *Drought-associated changes in climate and their relevance for ecosystem experiments and models*. *Biogeosciences* 8: 1121-1130. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1121-2011>
- de Vernal, A. et C. Hillaire-Marcel, 2006. *Provincialism in trends and high frequency changes in the northwest North Atlantic during the Holocene*. *Global Planet. Change* 54(3-4): 263-290. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.06.023>
- de Vernal, A., J. Guiot et J.-T. Turon, 1993. *Late and postglacial paleoenvironments of the Gulf of St. Lawrence: marine and terrestrial palynological evidence*. *Géogr. Phys. Quat.* 47(2): 167-180. <https://doi.org/10.7202/032946ar>
- de Vernal, A., A. Rochon, B. Fréchette, M. Henry, T. Radi et S. Solognac, 2013. *Reconstructing past sea ice cover of the Northern Hemisphere from dinocyst assemblages: Status of the approach*. *Quat. Sci. Rev.* 79(1): 122-134. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.06.022>
- Dionne, J.-C., 1977. *La mer du Goldthwait au Québec*. *Géogr. Phys. Quat.* 31(1-2): 61-80. <https://doi.org/10.7202/1000055ar>
- Dionne, J.-C., 2001. « Relative sea level changes in the St. Lawrence estuary from deglaciation to present day ». Dans : Weddle, T.K. et M.J. Rettle (édit.), *Deglacial history and relative sea-level changes, northern New England and adjacent Canada*. *Geol. Soc. Am. Special Paper* n° 351, p. 271-284. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2351-5.271>
- Dubois, J.M.M., 1979. *Environnement quaternaire et évolution postglaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier canadien : la Moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent*. Thèse de doctorat. Département de géographie, Université d'Ottawa. Ottawa, ON. 754 p. <http://dx.doi.org/10.20381/ruor-15610>
- Dubois, J.M.M. et J.-C. Dionne, 1985. *The Québec North Shore Moraine System: A major feature of Lake Wisconsin deglaciation*. *Geol. Soc. Am. Special Paper* n° 197, p. 125-133. <https://doi.org/10.1130/SPE197-p125>
- Dyke, A.S., 2004. *An outline of North American deglaciation with emphasis on central and northern Canada*. *Dev. Quat. Sci.* 2(B): 373-424. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(04\)80209-4](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(04)80209-4)
- Dyke, A.S., 2005. *Late Quaternary vegetation history of northern North America based on pollen, macrofossil and faunal remains*. *Géogr. Phys. Quat.* 59(2-3): 211-262. <https://doi.org/10.7202/014755ar>
- Dyke, A.S., A. Moore et L. Robertson, 2003. *Deglaciation of North America*. GEOSCAN Open File 1574. <https://doi.org/10.4095/214399>
- 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*. *Can. J. Bot.* 63(3): 543-561. <https://doi.org/10.1139/b85-070>
- Fick, S.E. et R.J. Hijmans, 2017. *WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. *Int. J. Climatol.* 37(12): 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fréchette, B. et A. de Vernal, 2009. *Relationship between Holocene climate variations over southern Greenland and eastern Baffin Island and synoptic circulation pattern*. *Clim. Past.* 5: 347-359. <https://doi.org/10.5194/cp-5-347-2009>
- Fréchette, B. et A. de Vernal, 2013. *Evidence for large amplitude biome and climate changes in Atlantic Canada during the last interglacial and mid-Wisconsinan periods*. *Quat. Res.* 79(2): 242-255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.11.011>
- Fréchette, B., A. de Vernal, J. Guiot, A.P. Wolfe, G.H. Miller, B. Fredskild, M.W. Kerwin et P.J.H. Richard, 2008. *Methodological basis for quantitative reconstruction of air temperature and sunshine from pollen assemblages in Arctic Canada and Greenland*. *Quat. Sci. Rev.* 27(11-12): 1197-1216. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.02.016>

- 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 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. 165 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/Memoire179.pdf>
- Gauthier, S., M.-A. Vaillancourt, A. Leduc, L. De Grandpré, D. Kneeshaw, H. Morin, P. Drapeau et Y. Bergeron, 2008. *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'Université du Québec. Québec, QC. 600 p.
- Gibb, O.T., C. Hillaire-Marcel et A. de Vernal, 2014. *Oceanographic regimes in the northwest Labrador Sea since Marine Isotope Stage 3 based on dinocyst and stable isotope proxy records*. *Quat. Sci. Rev.* 92: 269-279. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.12.010>
- Gibb, O.T., S. Steinhauer, B. Fréchette, A. de Vernal et C. Hillaire-Marcel, 2015. *Diachronous evolution of sea surface conditions in the Labrador Sea and Baffin Bay since the last deglaciation*. *Holocene* 25(12): 1882-1897. <https://doi.org/10.1177/0959683615591352>
- Grimm, E.C., 1987. *CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares*. *Comput. Geosci.* 13(1): 13-35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- 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. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Grondin-Pierre/Memoire150.pdf>
- Grootes, P.M. et M. Stuiver, 1997. *Oxygen 18/16 variability in Greenland snow and ice with 10<sup>-3</sup>- to 10<sup>5</sup>-year time resolution*. *J. Geophys. Res.* 102(C12): 26455-26470. <https://doi.org/10.1029/97JC00880>
- Jennings, A., J. Andrews, C. Pearce, L. Wilson et S. Ólfasdóttir, 2015. *Detrital carbonate peaks on the Labrador shelf, a 13-7 ka template for freshwater forcing from the Hudson Strait outlet of the Laurentide Ice Sheet into subpolar gyre*. *Quat. Sci. Rev.* 107(1): 62-80. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.022>
- Jessen, C.A., S. Solignac, N. Nørgaard-Pedersen, N. Mikkelsen, A. Kuijpers et M.-S. Seidenkrantz, 2011. *Exotic pollen as indicator of variable atmospheric circulation over the Labrador Sea region during the mid to late Holocene*. *J. Quat. Sci.* 26(3): 286-296. <https://doi.org/10.1002/jqs.1453>
- Jetté, H., 1991. *Palynostratigraphie postglaciaire de la région du lac Harriman (Gaspésie méridionale)*. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. Montréal, QC. 136 p.
- Jetté, H. et P.J.H. Richard, 1992. *Contribution à l'histoire postglaciaire de la végétation en Gaspésie méridionale, Québec*. *Géogr. Phys. Quat.* 46(3): 273-284. <https://doi.org/10.7202/032914ar>
- Johnson, D.M. et W.K. Smith, 2008. *Cloud immersion alters microclimate, photosynthesis and water relations in Rhododendron catawbiense and Abies fraseri seedlings in the southern Appalachian Mountains, USA*. *Tree Physiol.* 28(3): 385-392. <https://doi.org/10.1093/treephys/28.3.385>
- King, G.A., 1986. *Deglaciation and vegetation history of western Labrador and adjacent Quebec*. Thèse de doctorat. University of Minnesota. Minneapolis, MN (États-Unis) 266 p.
- Labelle, C. et P.J.H. Richard, 1981. *Végétation tardiglaciaire et postglaciaire au sud-est du parc des Laurentides, Québec*. *Géogr. Phys. Quat.* 35(3): 345-359. <https://doi.org/10.7202/1000544ar>
- Labelle, C. et P.J.H. Richard, 1984. *Histoire postglaciaire de la végétation dans la région du Mont-Saint-Pierre, Gaspésie, Québec*. *Géogr. Phys. Quat.* 38(3): 257-274. <https://doi.org/10.7202/032567ar>
- Ladd, M., A.E. Viau, R.G. Way, K. Gajewski et M.C. Sawada, 2018. *Variations in precipitation in North America during the past 2000 years*. *Holocene* 28(4): 667-675. <https://doi.org/10.1177/0959683617735583>
- Lamb, H.F., 1980. *Late Quaternary vegetational history of southeastern Labrador*. *Arct. Alp. Res.* 12(2): 117-135. <https://doi.org/10.2307/1550510>

- Larouche, A., 1979. *Histoire postglaciaire comparée de la végétation à Sainte-Foy et au mont des Éboulements, Québec, par l'analyse macro-fossile et l'analyse pollinique*. Mémoire de maîtrise. Université Laval. Québec, QC. 117 p.
- Lavoie, M. et L. Fillion, 2001. *Holocene vegetation dynamics of Anticosti Island, Québec, and consequences of remoteness on ecological succession*. *Quat. Res.* 56(1): 112-127. <https://doi.org/10.1006/qres.2001.2239>
- Legendre, P. et L. Legendre, 1998. *Numerical ecology*. 2<sup>nd</sup> English edition. Elsevier Science BV. Amsterdam (Pays-Bas). 852 p.
- Lehman, J.T., 1975. *Reconstructing the rate of accumulation of lake sediment: The effect of sediment focusing*. *Quat. Res.* 5(4): 541-550. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(75\)90015-0](https://doi.org/10.1016/0033-5894(75)90015-0)
- Lemay-Tougas, M., 2014. *Changements climatiques le long de la côte nord de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent durant l'Holocène : relation entre les conditions hydrographiques et le développement des tourbières ombrotrophes côtières*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Montréal. Montréal, QC. 123 p. <http://archipel.uqam.ca/id/eprint/7241>
- Levac, E. et A. de Vernal, 1997. *Postglacial changes of terrestrial and marine environments along the Labrador coast: palynological evidence from cores 91-045-005 and 91-045-006, Cartwright Saddle*. *Can. J. Earth Sci.* 34(10): 1358-1365. <https://doi.org/10.1139/e17-108>
- Levac, E., C.F.M. Lewis et A.A.L. Miller, 2011. *The impact of the final Lake Agassiz flood recorded in northeast Newfoundland and northern Scotian shelves based on century-scale palynological data*. *Geophys. Monogr. Ser.* 193(1): 139-159.
- Lewis, C.F.M., A.A.L. Miller, E. Levac, D.J.W. Piper et G.V. Sonnichsen, 2012. *Lake Agassiz outburst age and routing by Labrador Current and the 8.2 cal ka cold event*. *Quat. Int.* 260(18): 83-97. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.08.023>
- Marcoux, N., 1993. *Histoire tardiglaciaire et post-glaciaire de la végétation près de Madeleine-Centre en Gaspésie, Québec*. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. Montréal, QC. 131 p.
- Marcoux, N. et P.J.H. Richard, 1995. *Végétation et fluctuations climatiques postglaciaires sur la côte septentrionale gaspésienne, Québec*. *Can. J. Earth Sci.* 32(1): 79-96. <https://doi.org/10.1139/e95-008>
- Marlon, J.R., P.J. Bartlein, A.-L. Daniau, S.P. Harrison, S.Y. Maezumi, M.J. Power, W. Tinner et B. Vanni re, 2013. *Global biomass burning: A synthesis and review of Holocene paleofire records and their controls*. *Quat. Sci. Rev.* 65: 5-25. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.11.029>
- Marsicek, J., B.N. Shuman, P.J. Bartlein, S.L. Shafer et S. Brewer, 2018. *Reconciling divergent trends and millennial variations in Holocene temperatures*. *Nature* 554: 92-96. <https://doi.org/10.1038/nature25464>
- Masson-Delmotte, V., J. Jouzel, A. Landais, M. Stievenard, S.J. Johnsen, J.W.C. White, M. Werner, A. Sveinbjornsdottir et K. Fuhrer, 2005. *GRIP deuterium excess reveal rapid and orbital-scale changes in Greenland moisture origin*. *Science* 309(5731): 118-121. <https://doi.org/10.1126/science.1108575>
- Morneau, C. et Y. Landry, 2010. *Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 6j – Hautes collines du lac Cacaoui*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. 192 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-6j.pdf>
- Mott, R.J., 1976. *A Holocene pollen profile from the Sept- les area, Québec*. *Nat. Can. (Que.)* 103: 457-468.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles du Québec, 2013. *Rapport du Comité scientifique chargé d'examiner la limite nordique des forêts attribuables*. Secteur des forêts. 148 p. + 6 annexes. <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rapport-limite-nordique-forets.pdf>
- New, M., D. Lister, M. Hulme et I. Makin, 2002. *A high-resolution data set of surface climate over global land areas*. *Clim. Res.* 21: 1-25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>
- Occhietti, S., 2007. *The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet*. *G ogr. Phys. Quat.* 61(2-3): 89-117. <https://doi.org/10.7202/038987ar>
- Occhietti, S., M. Parent, P. Lajeunesse, F. Robert et à. Govare, 2011. *Late Pleistocene-early Holocene decay of the Laurentide Ice Sheet in Québec-Labrador*. *Dev. Quat. Sci.* 15: 601-630. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00047-7>

- Oris, F., H. Asselin, W. Finsinger, C. Hély, O. Blarquez, M.-E. Ferland, Y. Bergeron et A.A. Ali, 2014. *Long-term fire history in northern Québec: implications for the northern limit of commercial forests*. *J. Appl. Ecol.* 51(3): 675-683. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12240>
- Ouellet, J.-C. et P.J.H. Richard, 2017. « Un Archaïque ancien (8500 – 8000 ans AA) en Moyenne-Côte-Nord : l'apport des sites EbCx-65 et EbCx-66 en Minganie ». Dans : Burke, A.L. et C. Chapdelaine (édit.), *L'Archaïque au Québec : six millénaires d'histoire amérindienne*. Recherches amérindiennes au Québec. Collection Paléo-Québec n° 36. p. 15-56.
- Overpeck, J.T., T. Webb III et I.C. Prentice, 1985. *Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: Dissimilarity coefficients and the method of modern analogs*. *Quat. Res.* 23(1): 87-108. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(85\)90074-2](https://doi.org/10.1016/0033-5894(85)90074-2)
- Payette, S., 1976. *Les limites écologiques de la zone héli-arctique entre la mer d'Hudson et la baie d'Ungava, Nouveau-Québec*. *Cah. Geogr. Québec* 20(50): 347-364. <https://doi.org/10.7202/021325ar>
- Payette, S., 1992. « Fire as a controlling process in the North American boreal forest ». Dans : Shugart, H.H., R. Leemans et G.B. Bonan (édit.), *A systems analysis of the global boreal forest*. Cambridge University Press. Cambridge (Royaume-Uni). p. 145-169.
- Payette, S. et A. Delwaide, 2018. *Tamm review: The North-American lichen woodland*. *For. Ecol. Manage.* 417(15): 167-183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.043>
- Payette, S., V. Pilon, P.-L. Couillard et J. Laflamme, 2017. *Fire history of Appalachian forests of the lower St-Lawrence region (southern Quebec)*. *Forests* 8(4): 120. <https://doi.org/10.3390/f8040120>
- Pisias, N.G., A.C. Mix et L. Heusser, 2001. *Millennial scale climate variability of the northeast Pacific Ocean and northwest North America based on radiolaria and pollen*. *Quat. Sci. Rev.* 20(14): 1561-1576. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(01\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(01)00018-X)
- Pratte, S., M. Garneau et F. de Vleeschouwer, 2017. *Late-Holocene atmospheric dust deposition in eastern Canada (St. Lawrence North Shore)*. *Holocene* 27(1): 12-25. <https://doi.org/10.1177/0959683616646185>
- Reimer, P.J., E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, P.G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C.E. Buck, H. Cheng, R.L. Edwards, M. Friedrich, P.M. Grootes, T.P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatté, T.J. Heaton, D.L. Hoffmann, A.G. Hogg, K.A. Hughen, K.F. Kaiser, B. Kromer, S.W. Manning, M. Niu, R.W. Reimer, D.A. Richards, E.M. Scott, J.R. Southon, R.A. Staff, C.S.M. Turney et J. van der Plicht, 2013. *INTCAL13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP*. *Radiocarbon* 55(4): 1869-1887. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16947](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947)
- Rémillard, A.M., G. St-Onge, P. Bernatchez, B. Hétu, J.-P. Buylaert, A.S. Murray et B. Vigneault, 2016. *Chronology and stratigraphy of the Magdalen Islands archipelago from the last glaciation to the early Holocene: new insights into the glacial and sea-level history of eastern Canada*. *Boreas* 45(4): 604-628. <https://doi.org/10.1111/bor.12179>
- Remy, C.C., C. Hély, O. Blarquez, G. Magnan, Y. Bergeron, M. Lavoie et A.A. Ali, 2017a. *Different regional climatic drivers of Holocene large wildfires in boreal forests of northeastern America*. *Environ. Res. Lett.* 12(3): 035005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5aff>
- Remy, C.C., M. Lavoie, M.P. Girardin, C. Hély, Y. Bergeron, P. Grondin, F. Oris, H. Asselin et A.A. Ali, 2017b. *Wildfire size alters long-term vegetation trajectories in boreal forests of eastern North America*. *J. Biogeogr.* 44(6): 1268-1279. <https://doi.org/10.1111/jbi.12921>
- Richard, P.J.H., 1968. *Un spectre pollinique type de la sapinière à bouleau blanc pour la forêt Montmorency*. *Nat. Can. (Que.)* 95: 565-576.
- Richard, P.J.H., 1970. *Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec*. *Nat. Can. (Que.)* 97: 1-34; 97-161; 241-306.
- Richard, P.J.H., 1977. *Histoire post-wisconsinienne de la végétation au Québec méridional par l'analyse pollinique*. Gouvernement du Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche. Publications et rapports divers. Tome 1 : xxiv + 312 p., tome 2 : 142 p.
- Richard, P.J.H., 1978. *Aires ombrothermiques des principales unités de végétation du Québec*. *Nat. Can. (Que.)* 105: 195-207.

- Richard, P.J.H., 1987. *Le couvert végétal au Québec-Labrador et son histoire postglaciaire*. Université de Montréal, Département de géographie. Montréal, QC. Notes et Documents, 87-01. 74 p.
- Richard, P.J.H., 1993. *Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec*. Rev. Palaeobot. Palynol. 79(1-2): 31-68. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(93\)90037-U](https://doi.org/10.1016/0034-6667(93)90037-U)
- Richard, P.J.H., 1995. *Le couvert végétal du Québec-Labrador il y a 6000 ans BP: essai*. Géogr. Phys. Quat. 49(1): 117-140. <https://doi.org/10.7202/033033ar>
- 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 n° 32. p. 21-45.
- 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*. Éditions MultiMondes. Québec, QC. p. 170-176.
- Richard, P.J.H. et C. Labelle, 1989. *Histoire postglaciaire de la végétation au lac du Diable, mont Albert, Gaspésie, Québec*. Géogr. Phys. Quat. 43(3): 337-354. <https://doi.org/10.7202/032787ar>
- Richard, P.J.H. et A.C. Larouche, 1994. « Histoire postglaciaire de la végétation et du climat dans la région de Rimouski ». Dans : Chapdelaine, C. (édit.), *Il y a 8000 ans à Rimouski... Paléoécologie et archéologie d'un site de la culture plano*. Recherches amérindiennes au Québec. Collection Paléo-Québec n° 22. p. 49-89.
- Richard, P.J.H. et P. Poulin, 1976. *Un diagramme pollinique au Mont des Éboulements, région de Charlevoix, Québec*. Can. J. Earth Sci. 13(1): 145-156. <https://doi.org/10.1139/e76-014>
- Richard, P.J.H., A. Larouche et M.C. Bouchard, 1982. *Âge de la déglaciation finale et histoire postglaciaire de la végétation dans la partie centrale du Nouveau-Québec*. Géogr. Phys. Quat. 36(1-2): 63-90. <https://doi.org/10.7202/032470ar>
- Richard, P.J.H., J.J. Veillette et A.C. Larouche, 1989. *Palynostratigraphie et chronologie du retrait glaciaire au Témiscamingue : évaluation des âges <sup>14</sup>C et implications paléoenvironnementales*. Can. J. Earth Sci. 26(4): 627-641. <https://doi.org/10.1139/e89-054>
- Richard, P.J.H., A.C. Larouche et G. Lortie, 1992. *Paléophytogéographie et paléoclimats postglaciaires dans l'ouest du Bas-Saint-Laurent, Québec*. Géogr. Phys. Quat. 46(2): 151-172. <https://doi.org/10.7202/032900ar>
- Richard, P.J.H., J.J. Veillette, A.C. Larouche, B. Hétu, J.T. Gray et P. Gangloff, 1997. *Chronologie de la déglaciation en Gaspésie : nouvelles données et implications*. Géogr. Phys. Quat. 51(2): 163-184. <https://doi.org/10.7202/033116ar>
- Richard, P.J.H., B. Fréchette, P. Grondin et M. Lavoie, 2020. *Histoire postglaciaire de la végétation de la forêt boréale du Québec et du Labrador*. Nat. Can. (Que.) 144(1): 63-76. <https://doi.org/10.7202/1070086ar>
- Ritchie, J.C., 1974. *Modern pollen assemblages near the arctic tree line, Mackenzie Delta region, Northwest Territories*. Can. J. Bot. 52: 381-396. <https://doi.org/10.1139/b74-050>
- Ritchie, J.C., 1987. *Postglacial vegetation of Canada*. Cambridge University Press. Cambridge, (Royaume-Uni). 178 p.
- 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*. Éditions MultiMondes. Québec, QC. p. 165-316.
- Sauvé, A., 2016. *Reconstitution holocène de la végétation et du climat pour les régions de Baie-Comeau et d'Havre-Saint-Pierre, Québec*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Montréal. Montréal, QC. 57 p. <http://archipel.uqam.ca/id/eprint/8942>
- Sawada, M., K. Gajewski, A. de Vernal et P.J.H. Richard, 1999. *Comparison of marine and terrestrial Holocene climatic reconstructions from northeastern North America*. Holocene 9(3): 267-277. <https://doi.org/10.1191/095968399671029755>
- Seppä, H. et S. Hicks, 2006. *Integration of modern and past pollen accumulation rate (PAR) records across the arctic tree-line: a method for more precise vegetation reconstructions*. Quat. Sci. Rev. 25(13): 1501-1516. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.12.002>

- Seppä, H., T. Alenius, P. Muukkonen, T. Giesecke, P.A. Miller et A.E.K. Ojala, 2009. *Calibrated pollen accumulation rates as a basis for quantitative tree biomass reconstructions*. *Holocene* 19(2): 209-220. <https://doi.org/10.1177/0959683608100565>
- Sheldon, C.M., M.-S. Seidenkrantz, C. Pearce, A. Kuijpers, M.J. Hensen et E. Zilmer Christensen, 2015. *Holocene oceanographic changes in SW Labrador Sea, off Newfoundland*. *Holocene* 26(2): 274-289. <https://doi.org/10.1177/0959683615608690>
- Viau, A.E. et K. Gajewski, 2009. *Reconstructing millennial-scale, regional paleoclimates of boreal Canada during the Holocene*. *J. Clim.* 22(2): 316-330. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2342.1>
- Villeneuve, G.-O., 1959. *Bref aperçu climatique du Québec méridional*. *Cah. Geogr. Québec* 3(6): 153-162. <https://doi.org/10.7202/020175ar>
- Watson, B.I., J.W. Williams, J.M. Russell, S.T. Jackson, L. Shane et T.V. Lowell, 2018. *Temperature variations in the southern Great Lakes during the last deglaciation: Comparison between pollen and GDGT proxies*. *Quat. Sci. Rev.* 182: 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.12.011>
- 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. Brubaker, 2005. *Modern pollen data from North America and Greenland for multi-scale paleoenvironmental applications*. *Quat. Sci. Rev.* 24: 1828-1848. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.005>
- Williams, J.W. et B. Shuman, 2008. *Obtaining accurate and precise environmental reconstructions from the modern analog technique and North American surface pollen dataset*. *Quat. Sci. Rev.* 27(7-8): 669-687. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.01.004>
- Zhou, C., M.D. Zelinka et S.A. Klein, 2016. *Impact of decadal cloud variations on the Earth's energy budget*. *Nat. Geosci.* 9(12): 871-874. <https://doi.org/10.1038/ngeo2828>

# Annexes

**Annexe 1.** Climat de la période actuelle des 35 sites, tiré de la base de données modernes et des stations météorologiques à proximité de ceux-ci.

a) Valeurs tirées de la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005).

Secteur	Sigle du site	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	MTWA* (°C)	MTCO† (°C)	PANN‡ (mm)	SJJA§ (%)
Centre-nord du Québec (PLCN)	DAU	54° 53'	69° 24'	607	12,5	-24,1	830	38
	DEL1	54° 25'	69° 55'	513	12,5	-24,2	804	38
Ouest du Labrador (PLOL)	COGHILL	53° 54'	66° 46'	530	12,9	-23,1	844	39
	HARRIE	52° 56'	66° 57'	530	13,6	-22,2	854	41
	GRAS	52° 15'	67° 04'	530	13,7	-21,5	937	41
Côte-Nord (PMCN)	SABLE	51° 24'	66° 13'	530	13,8	-20,1	935	42
	PETEL	50° 33'	66° 16'	290	14,8	-16,7	1 024	45
	MATAMEK	50° 20'	65° 55'	122	15,0	-14,4	1 048	46
Sud du Labrador (PMSL)	LD	50° 08'	67° 08'	122	15,5	-15,4	1 032	46
	EAGLE	53° 14'	58° 33'	400	11,4	-17,7	1 113	35
	HOPESIM	52° 27'	56° 26'	295	10,3	-13,8	1 121	37
Nord du Saint-Laurent (SBRN)	MORaine	52° 16'	58° 03'	385	11,4	-16,3	1 178	35
	WHITNEY	51° 31'	57° 18'	98	11,7	-12,0	1 188	35
	MAIN	47° 42'	70° 37'	730	14,5	-15,5	1 416	45
	MADE	47° 40'	70° 43'	800	14,4	-15,7	1 435	44
	MIMI	47° 30'	70° 22'	423	15,6	-14,8	1 295	45
Sud du Saint-Laurent (SJRS)	ANGE	47° 29'	70° 41'	648	15,4	-15,0	1 358	45
	MARC	47° 03'	71° 24'	503	15,3	-15,2	1 535	46
	MORO	48° 19'	68° 34'	150	17,3	-13,6	1 048	48
	FOURX	47° 59'	69° 12'	160	17,7	-13,0	1 031	48
	BEAZ	47° 34'	68° 30'	191	17,9	-13,3	1 041	47
Centre de la Gaspésie (SBCG)	OUEL	47° 32'	68° 57'	300	17,8	-13,6	1 000	47
	BOUC	47° 27'	69° 27'	500	17,1	-13,9	1 112	47
	TUR	49° 09'	65° 46'	447	15,6	-14,0	1 118	45
	EBR	49° 03'	65° 53'	530	15,7	-13,7	1 090	45
	DOLB	48° 58'	65° 57'	965	14,8	-16,0	1 162	43
Côte nord de la Gaspésie (SJNG)	DIAB	48° 55'	66° 07'	494	15,4	-13,8	1 125	45
	TRIANG	48° 43'	65° 25'	465	16,0	-13,3	1 125	47
	JARX	49° 15'	65° 22'	56	16,4	-12,6	1 106	49
	EULX	49° 15'	65° 22'	83	16,4	-12,6	1 106	49
Côte sud de la Gaspésie (SJSG)	PERDU	49° 10'	66° 19'	152	15,7	-14,1	1 041	46
	BOUCHX	48° 56'	64° 36'	145	16,6	-11,8	1 182	49
	RAYMVP	48° 14'	65° 51'	50	17,4	-11,8	1 032	49
	CARIB	48° 12'	64° 56'	116	17,0	-11,1	1 225	51
	ROBIN	48° 03'	65° 16'	50	17,2	-11,5	1 129	50

\* Dans le contexte du Québec, la MTWA (température du mois le plus chaud) correspond à celle du mois de juillet.

† Dans le contexte du Québec, la MTCO (température du mois le plus froid) correspond à celle du mois de janvier.

‡ PANN : précipitations annuelles totales (mm).

§ SJJA : ensoleillement estival (juin-juillet-août; en % d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil).

**Annexe 1.** (suite et fin)

b) Valeurs basées sur les normales climatiques de 1971–2000 (entre parenthèses : celles de 1961–1990) des stations météorologiques d'Environnement Canada à proximité des sites.

Secteur	Nom de la station	Code*	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	MTWA <sup>†</sup> (°C)	MTCO <sup>‡</sup> (°C)	PANN <sup>§</sup> (mm)	SJJA <sup>  </sup> (%)
PLOL	Wabush Lake A	A	52° 55'	66° 52'	551	13,7 (13,5)	-22,7 (-22,2)	852 (881)	42
	Fermont	D	52° 48'	67° 05'	594	13,2	-23,2	807	s. o.
	Schefferville A	C, D	54° 48'	66° 49'	522	12,4	-24,1	823	36
	Poste Montagnais	C, D	51° 53'	65° 44'	610	13,2	-23,2	790	s. o.
PMCN	Sept-Îles A	A	50° 13'	66° 16'	55	15,3 (15,2)	-15,3 (-14,6)	1 156 (1 128)	s. o.
	Baie-Comeau A	A	49° 08'	68° 12'	22	15,6 (15,6)	-14,4 (-14,0)	1 014 (996)	50 <sup>¶</sup>
PMSL	Cartwright	A	53° 42'	57° 02'	14	12,1 (12,3)	-14,8 (-13,8)	1 050 (997)	37
	Blanc-Sablon A	D	51° 27'	57° 11'	37	12,6	-13,3	1 067	s. o.
SBRN	Forêt Montmorency	A	47° 19'	71° 09'	640	14,7 (14,8)	-15,8 (-15,3)	1 589 (1527)	47
	Saint-Cassien des Caps	C, D	47° 22'	70° 37'	373	17,1	-14,8	1 329	s. o.
	Saint-Hilarion	A	47° 36'	70° 24'	412	17,8	-13,8	986 <sup>#</sup>	s. o.
	Notre-Dame-des-Monts	C	47° 40'	70° 25'	267	17,2	-14,5	915	s. o.
SJRS	Mont-Joli A	A	48° 36'	68° 13'	52	17,5 (17,3)	-12,3 (-11,9)	929 (913)	52 <sup>**</sup>
	Notre-Dame-du-Lac	A	47° 36'	68° 48'	320	18,1 (18,2)	-13,9 (-13,3)	1 021 (1 003)	46 <sup>††</sup>
	Saint-Arsène	A	47° 57'	69° 23'	76	17,8 (17,8)	-12,6 (-12,2)	963 (924)	s. o.
	Saint-Clément	A	47° 55'	69° 06'	259	17,3 (17,3)	-14,5 (-14,1)	1 091 (1 005)	s. o.
	Saint-Guy	A	48° 03'	68° 49'	320	17,0 (16,9)	-14,6 (-14,2)	1 256 (1 209)	s. o.
	Sainte-Rose du Dégelis	A	47° 34'	68° 38'	151	17,7 (17,6)	-14,3 (-13,5)	1 005 (973)	s. o.
	Trinité des Monts	A	48° 08'	68° 29'	262	17,2 (17,1)	-14,2 (-14,0)	1 098 (1 052)	s. o.
	Trois-Pistoles	A	48° 09'	69° 07'	58	17,7 (17,7)	-12,0 (-11,5)	1 005 (956)	s. o.
SBCG	Murdochville	D	48° 57'	65° 31'	575	16,4 (16,2)	-13,9 (-13,3)	1 117 (1 059)	s. o.
SJNG	Sainte-Anne-des-Monts	A	49° 08'	66° 28'	15	16,6 (16,7)	-11,7 (-11,2)	845 (824)	s. o.
	Cap Seize	C, D	49° 01'	66° 24'	229	16,5	-14,3	1 136	47
	Cap Madeleine	C	49° 14'	65° 19'	2	16,5	-11,4	796	s. o.
	Mont Louis	C	49° 14'	65° 44'	15	17,3	-11,7	885	s. o.
	Gaspé A	B, C, D	48° 46'	64° 28'	34	16,6	-11,9	1 117	51
SJSG	Charlo A	A	47° 59'	66° 20'	40	17,9 (17,8)	-12,8 (-12,5)	1 054 (1 052)	52
	Nepisiguit Falls	A	47° 24'	65° 47'	106	18,6 (18,6)	-11,9 (-11,4)	1 033 (1 041)	s. o.
	New Carlisle	D	48° 02'	65° 16'	45	17,6	-11,3	1 096	s. o.
	Caplan	C	48° 06'	65° 41'	23	17,8	-11,2	984	s. o.
	Port Daniel	A	48° 09'	64° 59'	69	17,4 <sup>‡‡</sup>	-11,5 <sup>‡‡</sup>	1 296	s. o.
	Saint-Elzéar de Bonaventure	C, D	48° 11'	65° 21'	229	16,8	-13,0	1 220	s. o.

\* Code A : règle de l'OMM, c.-à-d. 30 ans d'enregistrement. Code B : au moins 25 ans d'enregistrement. Code C : au moins 20 ans d'enregistrement. Code D : au moins 15 ans d'enregistrement.

† Dans le contexte du Québec, la MTWA (température du mois le plus chaud) correspond à celle du mois de juillet.

‡ Dans le contexte du Québec, la MTCO (température du mois le plus froid) correspond à celle du mois de janvier.

§ PANN : précipitations annuelles totales (mm).

|| SJJA : ensoleillement estival (juin-juillet-août; en % d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil). Ces données ne sont pas disponibles pour les normales climatiques de la période 1961–1990.

¶ Code D pour le SJJA de la station Baie-Comeau A.

# Code C pour les PANN de la station Saint-Hilarion.

\*\* Code C pour le SJJA de la station Mont-Joli.

†† Code D pour le SJJA de la station Notre-Dame du Lac.

‡‡ Code D pour les données de température de la station Port Daniel.

**Annexe 2.** Liste des taxons sporopolliniques tirée de la base de données postglaciaires et de la base de données modernes et information sur le groupement des taxons. a) Taxons dénombrés aux 35 sites à l'étude (n = 238); b) taxons de la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005) (n = 134); c) taxons retenus par Williams et Shuman (2008) (n = 63); d) taxons de la base de données modernes utilisés dans le présent travail de recherche (n = 56). Les taxons dont la cellule est en grisé sont ceux exclus des reconstitutions climatiques (figures 12 et 13) et du calcul des assemblages polliniques millénaires (figure 14).

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)		
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)
<b>Taxons arborés</b>				
(n = 60)	(n = 26)	(n = 39)	(n = 30)	(n = 24)
<i>Abies</i> <i>Abies balsamea</i> <i>Abies balsamea</i> (fragments de)	<i>Abies balsamea</i>	<i>Abies</i>	<i>Abies</i>	<i>Abies</i>
<i>Acer</i> <i>Acer nigrum</i> <i>Acer spicatum</i> <i>Acer pensylvanicum</i> <i>Acer cf. A. pensylvanicum</i> <i>Acer rubrum</i> <i>Acer saccharinum</i> <i>Acer saccharum</i> <i>Acer negundo</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i> non différencié <i>Acer pensylvanicum</i> <i>Acer rubrum</i> <i>Acer saccharinum</i> <i>Acer saccharum</i> <i>Acer negundo</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>
<i>Carpinus/Ostrya</i>	<i>Carpinus/Ostrya</i>	<i>Ostrya/Carpinus</i>	<i>Ostrya/Carpinus</i>	<i>Ostrya/Carpinus</i>
<i>Carya</i> <i>Carya ovata</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>
<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea</i>	<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea dentata</i>
<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Celtis</i>	<i>Celtis</i>	<i>Celtis</i>
Cupressaceae <i>Thuja occidentalis/</i> <i>Juniperus communis</i> type <i>Thuja occidentalis</i> cf. <i>Juniperus communis</i> type <i>Juniperus</i> type <i>Juniperus communis</i>	Cupressaceae	Cupressaceae	Cupressaceae	Cupressaceae
<i>Fagus grandifolia</i>	<i>Fagus grandifolia</i>	<i>Fagus</i>	<i>Fagus</i>	<i>Fagus</i>
<i>Fraxinus</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Fraxinus</i> non différenciés	<i>Fraxinus</i> non différenciés	<i>Fraxinus</i>
<i>Fraxinus</i> type <i>nigra</i>	<i>Fraxinus</i> type <i>nigra</i>	<i>Fraxinus nigra</i>	<i>Fraxinus nigra</i>	<i>Fraxinus nigra</i>
<i>Fraxinus cf. F. americana</i> <i>Fraxinus</i> type <i>pennsylvanica</i>	<i>Fraxinus</i> type <i>pennsylvanica</i>	<i>Fraxinus</i> <i>pennsylvanica/americana</i>	<i>Fraxinus</i> <i>pennsylvanica/americana</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>
<i>Juglans</i> <i>Juglans cinerea</i> <i>Juglans nigra</i>	<i>Juglans</i>	<i>Juglans</i> non différenciés <i>Juglans cinerea</i> <i>Juglans nigra</i>	<i>Juglans</i>	<i>Juglans</i>
<i>Larix laricina</i>	<i>Larix laricina</i>	<i>Larix/Pseudotsuga</i>	<i>Larix/Pseudotsuga</i>	<i>Larix</i>
Moraceae type <i>Morus rubra</i>	Moraceae	Moraceae		
<i>Nyssa</i>	<i>Nyssa</i>	<i>Nyssa</i>	<i>Nyssa</i>	<i>Nyssa</i>
<i>Picea</i> <i>Picea</i> (fragments de) <i>Picea cf. P. glauca</i> <i>Picea</i> type <i>glauca</i> <i>Picea</i> type <i>mariana</i>	<i>Picea</i>	<i>Picea</i> non différenciés <i>Picea glauca</i> <i>Picea mariana</i>	<i>Picea</i>	<i>Picea</i>
<i>Pinus</i> <i>Pinus</i> (fragments de) <i>Pinus cf. P. banksiana</i> <i>Pinus cf. P. resinosa</i> <i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus</i> <i>Pinus cf. P. banksiana</i> <i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus</i> non différenciés <i>Pinus diploxylon</i> <i>Pinus haploxylon</i>	<i>Pinus</i> non différenciés <i>Pinus diploxylon</i> <i>Pinus haploxylon</i>	<i>Pinus</i>

## Annexe 2. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)		
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)
<i>Platanus</i> <i>Platanus occidentalis</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>
<i>Populus</i> <i>Populus cf. P. balsamifera</i> <i>Populus cf. P. deltoides</i> <i>Populus cf.</i> <i>P. grandidentata</i> <i>Populus cf. P. tremuloides</i>	<i>Populus</i>	<i>Populus</i>	<i>Populus</i>	<i>Populus</i>
<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>
<i>Tilia americana</i>	<i>Tilia americana</i>	<i>Tilia</i>	<i>Tilia</i>	<i>Tilia</i>
<i>Tsuga canadensis</i> - -	<i>Tsuga</i>	<i>Tsuga</i> non différenciés <i>Tsuga heterophylla</i> <i>Tsuga mertensiana</i>	<i>Tsuga</i> non différenciés <i>Tsuga heterophylla</i> <i>Tsuga mertensiana</i>	<i>Tsuga</i>
<i>Ulmus</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Ulmus</i>
<i>Coniferophyta</i> non différenciés Conifères (fragments de) Pinaceae non différenciés Arbres non différenciés	autres arbres			
		<i>Chrysolepis/Lithocarpus</i>	<i>Chrysolepis/Lithocarpus</i>	
		Taxodium	Taxodium	Taxodium
		-	<i>Pinus Southeast</i>	
		<i>Liquidambar</i>	<i>Liquidambar</i>	<i>Liquidambar</i>
<b>Bouleaux</b> (n = 3)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)
<i>Betula</i> <i>Betula corrodés</i> Betulaceae non différenciés	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>
<b>Taxons arbustifs</b> (n = 42)	(n = 18)	(n = 24)	(n = 12)	(n = 12)
<i>Alnus</i> <i>Alnus type crispa</i> <i>Alnus viridis</i>	<i>Alnus type crispa</i>	<i>Alnus</i> non différenciés <i>Alnus crispa</i>	<i>Alnus</i>	<i>Alnus crispa</i>
<i>Alnus type incana</i> -	<i>Alnus type incana</i>	<i>Alnus rugosa</i> <i>Alnus rubra</i>	<i>Alnus rugosa</i> <i>Alnus rubra</i>	<i>Alnus incana</i>
<i>Lonicera</i> <i>Viburnum</i> <i>Viburnum alnifolium</i> <i>Viburnum cassinoides</i> <i>Viburnum edule</i> <i>Viburnum lentago</i> <i>Viburnum trilobum</i> <i>Viburnum type trilobum</i> <i>Sambucus</i>	Caprifoliaceae  <i>Viburnum</i>  <i>Sambucus</i>	Caprifoliaceae		Caprifoliaceae
<i>Cornus</i> <i>Cornus rugosa</i> <i>Cornus stolonifera</i> <i>Cornus canadensis</i>	<i>Cornus</i>	<i>Cornus</i>		
<i>Corylus cornuta</i>	<i>Corylus cornuta</i>	<i>Corylus</i>	<i>Corylus</i>	<i>Corylus</i>
<i>Dryas</i>	<i>Dryas</i>	<i>Dryas</i>	<i>Dryas</i>	<i>Dryas</i>
- <i>Shepherdia canadensis</i>	Elaeagnaceae	Elaeagnaceae <i>Shepherdia canadensis</i>		Elaeagnaceae
<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	

## Annexe 2. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)		
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)
Ericaceae <i>Ledum/Chamaedaphne calyculata</i> <i>Vaccinium</i> <i>Impatiens</i> (Ericales)	Ericaceae	Ericaceae non différenciés <i>Chamaedaphne/Ledum</i> <i>Vaccinium</i> Ericales non différenciés	Ericaceae	Ericaceae
<i>Myrica gale</i>	<i>Myrica gale</i>	<i>Myricaceae</i>	<i>Myricaceae</i>	<i>Myrica gale</i>
Aquifoliaceae <i>Ilex</i> <i>Nemopanthus/Ilex</i> <i>Nemopanthus mucronatus</i>	<i>Nemopanthus/Ilex</i>	Aquifoliaceae	Aquifoliaceae	Aquifoliaceae
<i>Rhamnus alnifolia/frangula</i> <i>Rhamnus cathartica</i> <i>Rhamnus/Vitis</i> <i>Vitis</i>	<i>Rhamnus/Vitis</i>	Rhamnaceae/Vitaceae		Rhamnaceae/Vitaceae
<i>Salix</i> <i>Salix</i> type <i>herbacea</i> <i>Salix</i> type <i>vestita</i>	<i>Salix</i>	<i>Salix</i>	<i>Salix</i>	<i>Salix</i>
cf. <i>Taxus canadensis</i> <i>Taxus canadensis</i>	<i>Taxus canadensis</i>	<i>Taxus</i>		<i>Taxus</i>
<i>Rhus typhina</i>	Anacardiaceae	Anacardiaceae		
<i>Symphoricarpos albus</i> <i>Calla palustris</i>	autres arbustes			
		Cactaceae	Cactaceae	
		<i>Larrea</i>	<i>Larrea</i>	
		<i>Ceanothus</i>		
<b>Taxons herbacés</b>				
(n = 71)	(n = 32)	(n = 58)	(n = 17)	(n = 19)
Liguliflorae Asteraceae subf. Cichorioideae Asteraceae Asteraceae subf. Asteroideae Tubuliflorae	Asteraceae	Asteraceae subf. Cichorioideae  Asteraceae non différenciés	Asteraceae	Tubuliflorae/Liguliflorae
<i>Iva annua</i> -type <i>Iva xanthifolia</i> -type - type <i>Ambrosia</i>	type <i>Ambrosia</i>	<i>Iva</i> <i>Xanthium</i> <i>Ambrosia</i>		<i>Ambrosia</i>
<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>
<i>Arceuthobium pusillum</i>	<i>Arceuthobium/Loranthaceae</i>	<i>Arceuthobium</i>	<i>Arceuthobium</i>	
<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassicaceae</i>
<i>Cannabaceae</i>	<i>Cannabaceae</i>			
Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae
Chenopodiaceae cf. <i>Sarcobatus</i> <i>Sarcobatus vermiculatus</i>	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae/ Amaranthaceae <i>Sarcobatus</i>	Chenopodiaceae/ Amaranthaceae <i>Sarcobatus</i>	Chenopodiaceae
Cyperaceae	Cyperaceae	Cyperaceae	Cyperaceae	Cyperaceae

## Annexe 2. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)		
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)
Onagraceae <i>Epilobium</i> <i>Epilobium</i> type <i>angustifolium</i>	Onagraceae	Onagraceae		Onagraceae
Fabaceae type <i>Oxytropis</i> <i>maydelliana</i> -	Fabaceae	Fabaceae <i>Amorpha</i>		Fabaceae
Lamiaceae type <i>Mentha</i>	Lamiaceae	Lamiaceae		
Liliaceae	Liliaceae	Liliaceae		
Plantaginaceae <i>Plantago</i>	<i>Plantago</i>	Plantaginaceae	Plantaginaceae	Plantaginaceae
Poaceae <i>Cerealia</i>	Poaceae	Poaceae	Poaceae	Poaceae
Polygonaceae <i>Polygonum</i> <i>Polygonum</i> type <i>lapathifolium</i> <i>Polygonum viviparum</i> -	<i>Polygonum</i>	Polygonaceae <i>Polygonum</i> non différenciés <i>Polygonum viviparum</i> <i>Polygonum bistortoides</i>		
- <i>cf. Oxyria digyna</i> type <i>Oxyria digyna</i> <i>Rumex</i> type <i>Rumex</i>	<i>Oxyria/Rumex</i>	<i>Rumex/Oxyria</i> <i>Oxyria</i> <i>Rumex</i>	<i>Oxyria</i>	<i>Oxyria/Rumex</i>
<i>Koenigia islandica</i>	<i>Koenigia islandica</i>	<i>Koenigia islandica</i>		
Ranunculaceae	Ranunculaceae	Ranunculaceae		Ranunculaceae
<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>
Rubiaceae <i>Galium</i> -	Rubiaceae	Rubiaceae <i>Cephalanthus</i>		Rubiaceae
Rosaceae <i>cf. Prunus serotina</i> <i>Prunus serotina</i> <i>Prunus</i> <i>Prunus pensylvanica</i> <i>Prunus virginiana</i> type <i>Potentilla palustris</i> <i>Rubus chamaemorus</i> <i>Sanguisorba canadensis</i> -	Rosaceae	Rosaceae <i>Potentilla</i> <i>Rubus</i> <i>Sanguisorba</i> <i>Cercocarpus</i>	Rosaceae	Rosaceae
Saxifragaceae <i>Saxifraga</i> <i>Saxifraga</i> type <i>oppositifolia</i> <i>Saxifraga</i> type <i>cernua</i> -	Saxifragaceae	Saxifragaceae non différenciés <i>Saxifraga oppositifolia</i> <i>Saxifraga cernua</i> <i>Saxifraga hieracifolia</i> <i>Saxifraga tricuspidata</i>	<i>Saxifraga</i>	Saxifragaceae
Papaveraceae	Papaveraceae	Papaveraceae	Papaveraceae	Papaveraceae
Apiaceae	Apiaceae	Apiaceae		Apiaceae
Euphorbia	Euphorbia	Euphorbiaceae		
Malvaceae	Malvaceae	Malvaceae	« Minor forbs »	
-		<i>Eriogonum</i> (Polygonaceae)		

## Annexe 2. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)		
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)
type <i>Campanula</i>	type <i>Campanula</i>	Campanulaceae		
type <i>Lobelia</i>				
Urticaceae	type <i>Urtica</i>	Urticaceae		
<i>Armeria maritima</i>	<i>Armeria maritima</i>	<i>Armeria</i>		
Scrophulariaceae <i>Pedicularis</i>	Scrophulariaceae	Scrophulariaceae <i>Pedicularis</i>		
Herbes non différenciées Gentianaceae <i>Geranium</i> <i>Hypericum</i> <i>Sarracenia purpurea</i> <i>Aralia hispida</i>	autres herbes			
		<i>Prosopis</i>	<i>Prosopis</i>	
		Arecaceae		
		Boraginaceae		
		Dodecatheon		
		Magnoliaceae		
		<i>Liriodendron</i>		
		Polemoniaceae		
<b>Mousses</b>				
(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 0)
<i>Sphagnum</i>	<i>Sphagnum</i>	<i>Sphagnum</i>	<i>Sphagnum</i>	
<b>Ptéridophytes</b>				
(n = 32)	(n = 11)	(n = 10)	(n = 2)	(n = 0)
type <i>Lycopodium</i> <i>Lycopodium</i> non différenciés <i>Lycopodiaceae</i> non différenciés <i>Diphasiastrum complanatum</i> <i>Diphasiastrum</i> type <i>complanatum</i> <i>Diphasiastrum</i> type <i>tristachyum</i> <i>Lycopodium annotinum</i> <i>Lycopodium</i> type <i>annotinum</i> <i>Lycopodium clavatum</i> <i>Diphasiastrum alpinum</i> <i>Diphasiastrum</i> type <i>alpinum</i>	<i>Lycopodium</i>	<i>Lycopodium</i> non différenciés	<i>Lycopodium</i>	
		<i>Lycopodium complanatum</i>		
		<i>Lycopodium annotinum</i>		
		<i>Lycopodium clavatum</i>		
<i>Huperzia lucidula</i> <i>Huperzia</i> type <i>selago</i> <i>Lycopodium obscurum</i> <i>Lycopodium</i> type <i>obscurum</i>	<i>Huperzia</i>	<i>Lycopodium selago</i>		
<i>Lycopodiella inundata</i>	<i>Lycopodiella inundata</i>			
<i>Osmunda</i> <i>Osmunda cinnamomea</i> <i>Osmunda</i> type <i>regalis</i>	<i>Osmunda</i>	Osmundaceae		
<i>Equisetum</i>	<i>Equisetum</i>	<i>Equisetum</i>		
<i>Pteridium</i> <i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Pteridium</i>	<i>Pteridium</i>	<i>Pteridium</i>	

## Annexe 2. (suite et fin)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 35 sites)		Taxons de la base de données modernes – Taxons barrés, absents de la BD couvrant l'est de l'Amérique du Nord (n = 2418)			
a) Tous les taxons (n = 238)	Groupement des taxons (n = 101)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 56)	
Spores monolètes Polypodiaceae <i>Adiantum</i> <i>Polypodium virginianum</i> type <i>Woodsia</i> type <i>Dryopteris</i> <i>Dryopteris</i> <i>Athyrium</i>	Spores monolètes  type <i>Woodsia</i> type <i>Dryopteris</i> <i>Athyrium</i>	Polypodiaceae			
Spores trilètes <i>Pteridophyta</i> non différenciés	autres spores				
			Botrychium		
<b>Taxons aquatiques</b>					
(n = 19)	(n = 11)		(n = 1)	(n = 0)	(n = 0)
<i>cf. Callitriche</i>	<i>cf. Callitriche</i>				
<i>Eriocaulon</i>	<i>Eriocaulon</i>				
<i>Isoetes</i>	<i>Isoetes</i>				
<i>Menyanthes trifoliata</i>	<i>Menyanthes trifoliata</i>				
<i>Myriophyllum</i> <i>Myriophyllum</i> <i>alterniflorum</i>	<i>Myriophyllum</i>				
<i>Nuphar</i>	<i>Nuphar</i>				
<i>Nymphaea</i>	<i>Nymphaea</i>				
<i>Potamogeton</i> <i>Potamogeton/Triglochin</i> Potamogetonaceae	<i>Potamogeton/Triglochin</i>				
<i>Sagittaria</i>	<i>Sagittaria</i>				
<i>Sparganium</i> <i>Typha</i> <i>Typha angustifolia</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Typha/Sparganium</i>	<i>Typha/Sparganium</i>				
<i>Selaginella</i> <i>Selaginella selaginoides</i>	<i>Selaginella</i>				
<b>Algues</b>					
(n = 10)	(n = 1)	(n = 0)	(n = 0)	(n = 0)	
<i>Pediastrum</i> <i>Pediastrum angulosum</i> <i>Pediastrum boryanum</i> <i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>integrum</i> <i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i> <i>Pediastrum braunii</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum kawraiskyi</i> <i>Pediastrum simplex</i> <i>Pediastrum tetras</i>	<i>Pediastrum</i>				

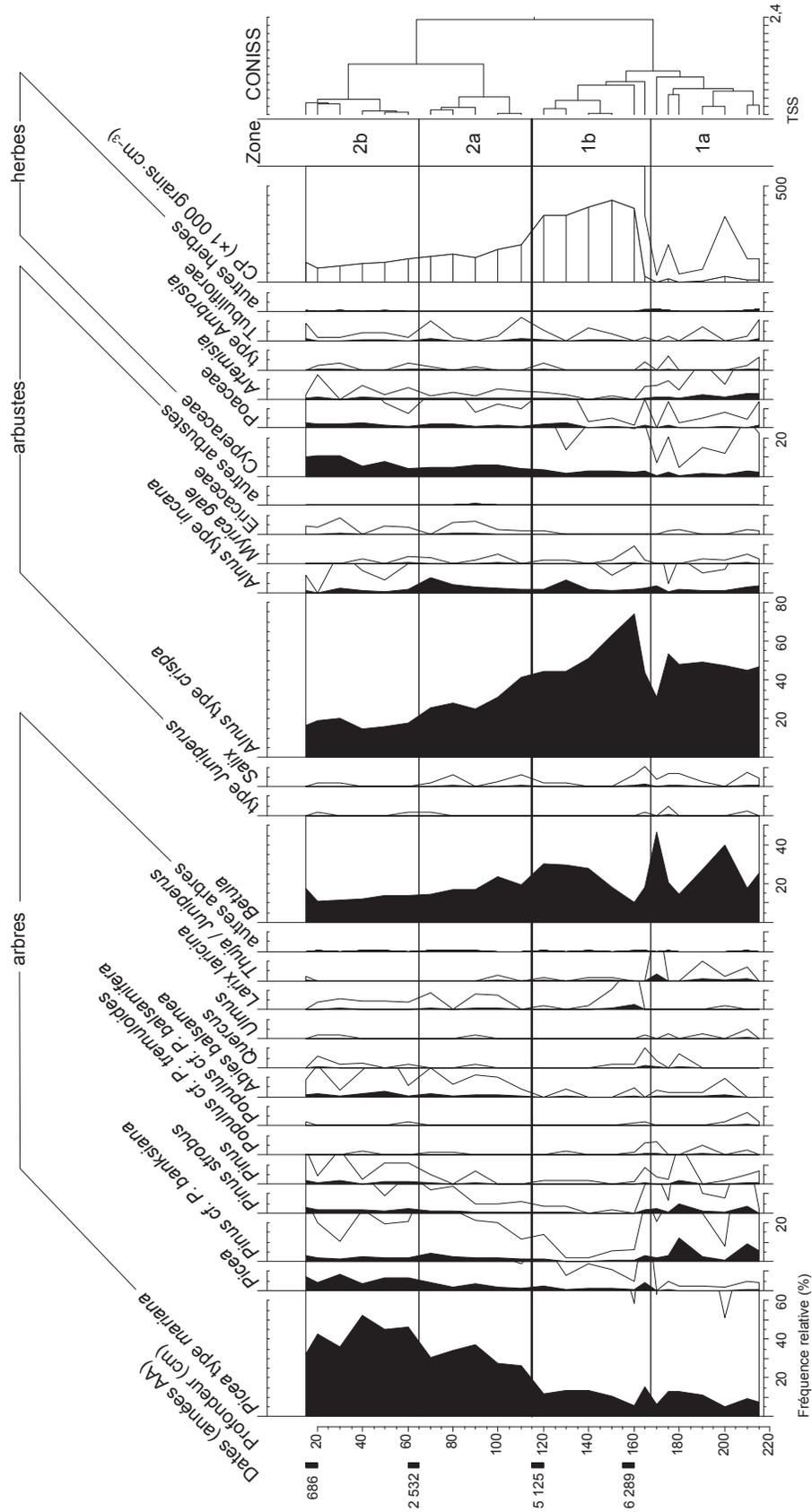
**Annexe 3.** Diagrammes polliniques des 35 sites postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional, et résultat du groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (CONISS).

Le dendrogramme CONISS est présenté à la droite des diagrammes, et les dates au radiocarbone des sédiments, exprimées en années sidérales avant aujourd'hui (AA), sont affichées à gauche. La concentration pollinique (CP) en grains·cm<sup>-3</sup> est livrée lorsque disponible. Le résultat est présenté en fonction de la profondeur. L'unité des courbes polliniques est en pourcentage.

Pour chaque diagramme, les taxons rares (avec un pourcentage toujours < 1 %) ont été regroupés sous « autres arbres », « autres arbustes » et « autres herbes ». Les traits horizontaux délimitent les zones d'assemblage pollinique (ZAP) indiquées par le dendrogramme. L'intensité du groupement, c'est-à-dire la valeur de la TSS (valeur sans unité correspondant à la somme des carrés des écarts à la moyenne), est donnée avec le dendrogramme. Les frontières des différentes ZAP sont illustrées par des traits horizontaux de styles variés. La numérotation des ZAP tient compte de l'ordre des groupes illustrés dans le dendrogramme. Le dernier groupement (1<sup>er</sup> ordre) est représenté par un trait gras qui sépare la séquence en deux groupes, marquant un changement important dans les assemblages polliniques. Les groupes 1 et 2 sont subdivisés à leur tour en sous-groupes par des traits standards (subdivisions de 2<sup>e</sup> ordre, p. ex., 1a-1b, 2a-2b-2c) qui marquent des changements importants dans les assemblages polliniques, mais moins prononcés que ceux observés entre les groupes 1 et 2. Finalement, les sous-groupes sont parfois divisés de nouveau par des traits pointillés (subdivisions de 3<sup>e</sup> ordre, p. ex., 1a1-1a2-1b1-1b2-1b3). Il est question de changements plus subtils dans les assemblages polliniques. D'autres subdivisions (4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> ordre) sont parfois identifiées dans les diagrammes par des traits fins. Les 35 diagrammes sont ordonnés comme au tableau 1. Les courbes polliniques non remplies illustrent une exagération des pourcentages (10x). La valeur de la CP des sédiments n'est pas disponible pour les sites récupérés à partir de NEOTOMA : COGHILL, HARRIE, GRAS, SABLE et PETEL (King 1986), LD (Mott 1976), EAGLE et WHITNEY (Lamb 1980) ainsi que MORAINÉ et HOPESIM (Engstrom et Hansen 1985). frg : fragments du taxon ramenés à l'unité (grain entier).

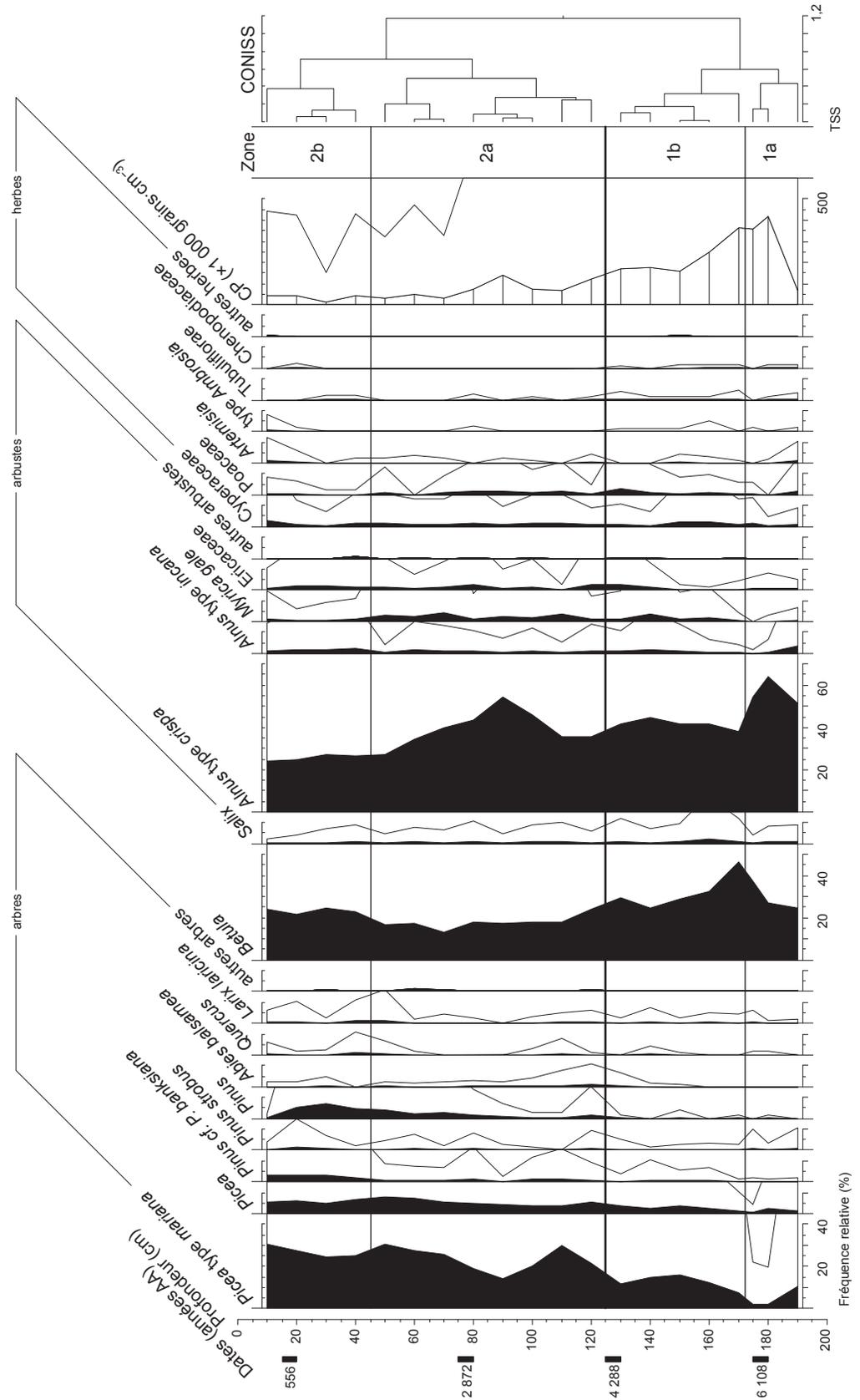
Annexe 3. (suite)

a) DAU – Daumont (lac) – 1,5 ha – secteur de la PLCN  
 54° 53' N., 69° 24' O. – alt. 607 m (PL)  
 Richard et al. (1982)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



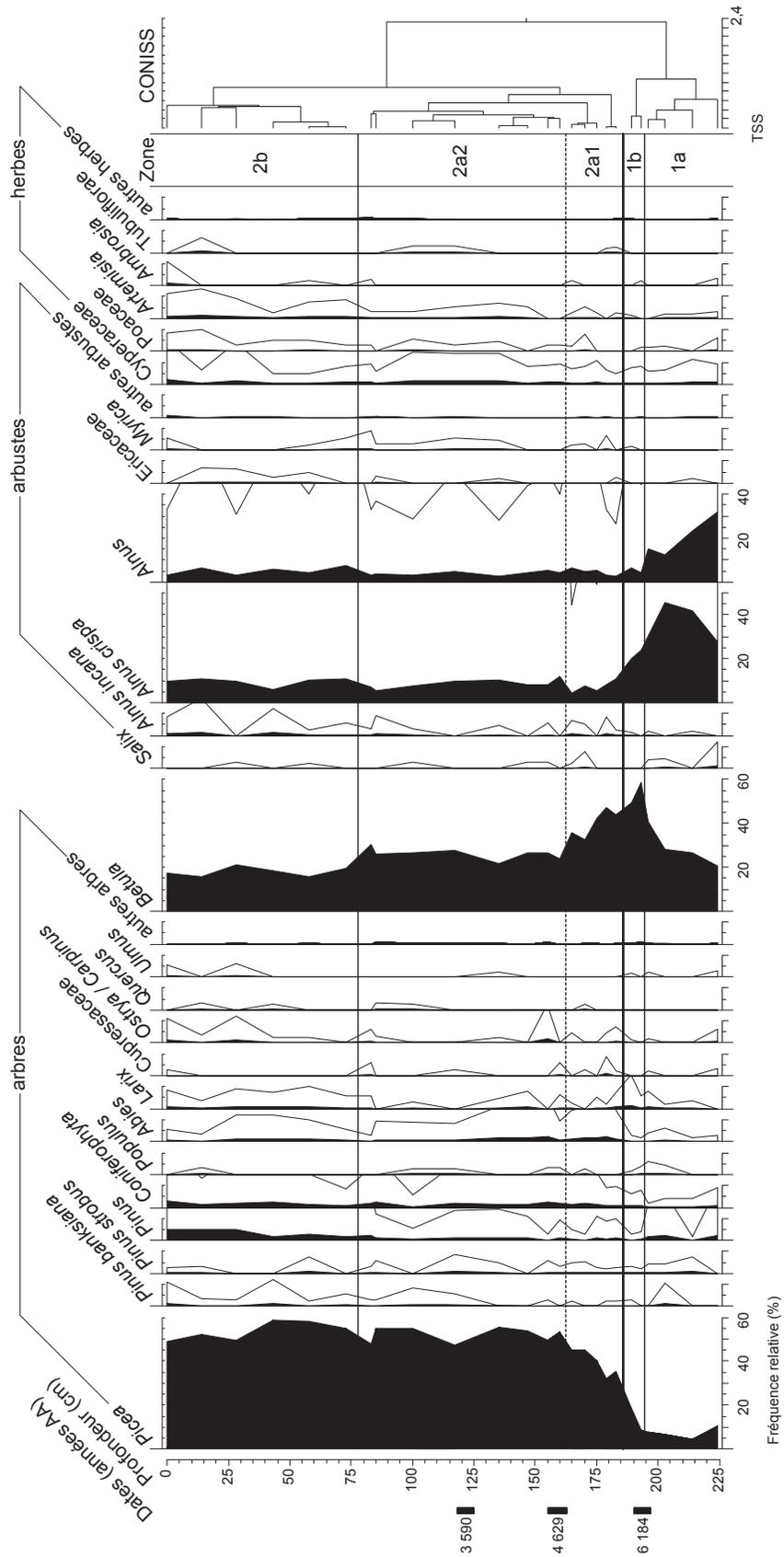
Annexe 3. (suite)

b) DEL1 – Delorme - 1 (lac) – 0,5 ha – secteur de la PLCN  
 54° 25' N., 69° 55' O. – alt. 513 m (PL)  
 Richard et al. (1982)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



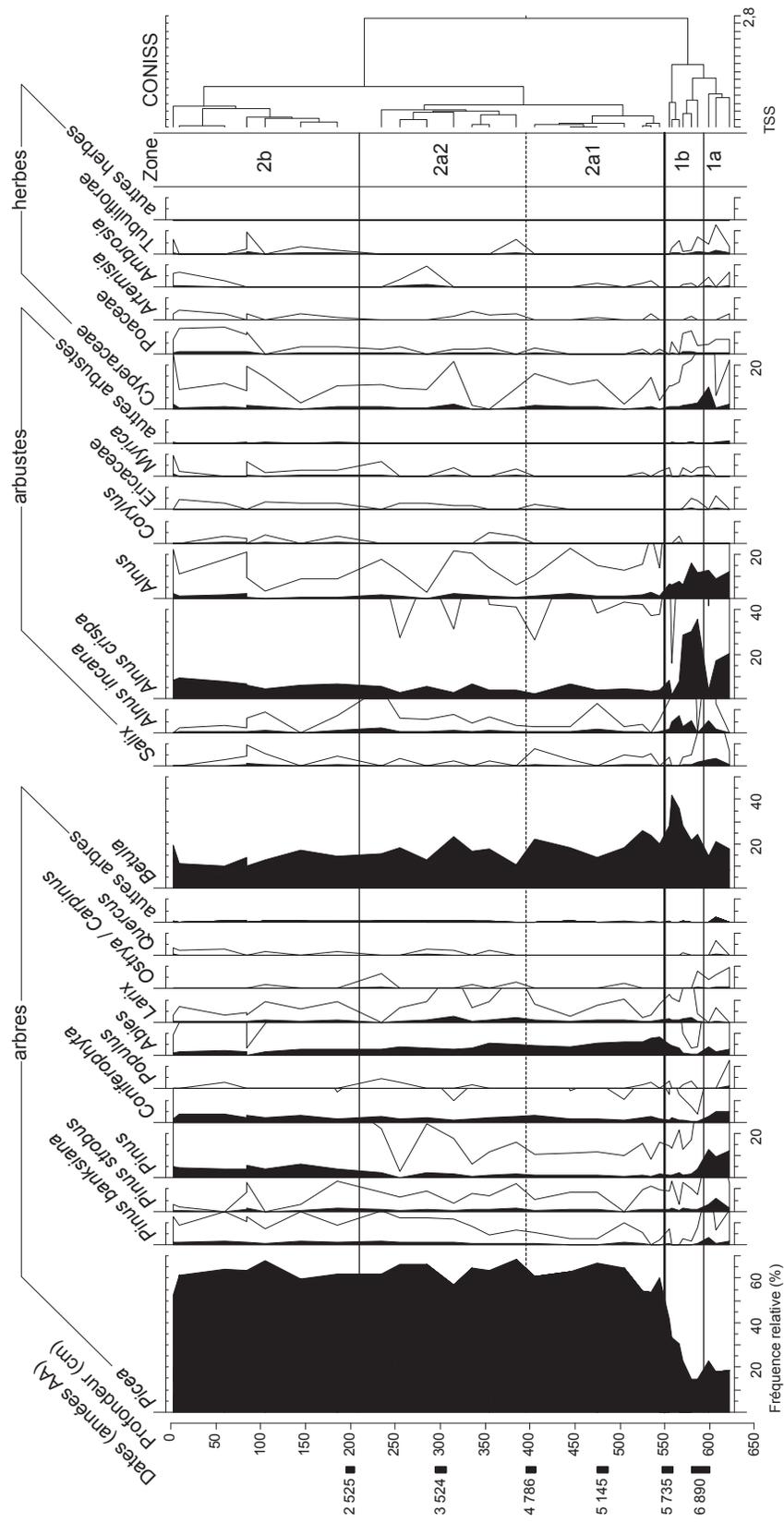
Annexe 3. (suite)

c) COGHILL – Coghill Lake – 535 ha – secteur de la PLOL  
 53° 54' N., 66° 46' O. – alt. 530 m (PL)  
 King (1986)  
 Source : NEOTOMA



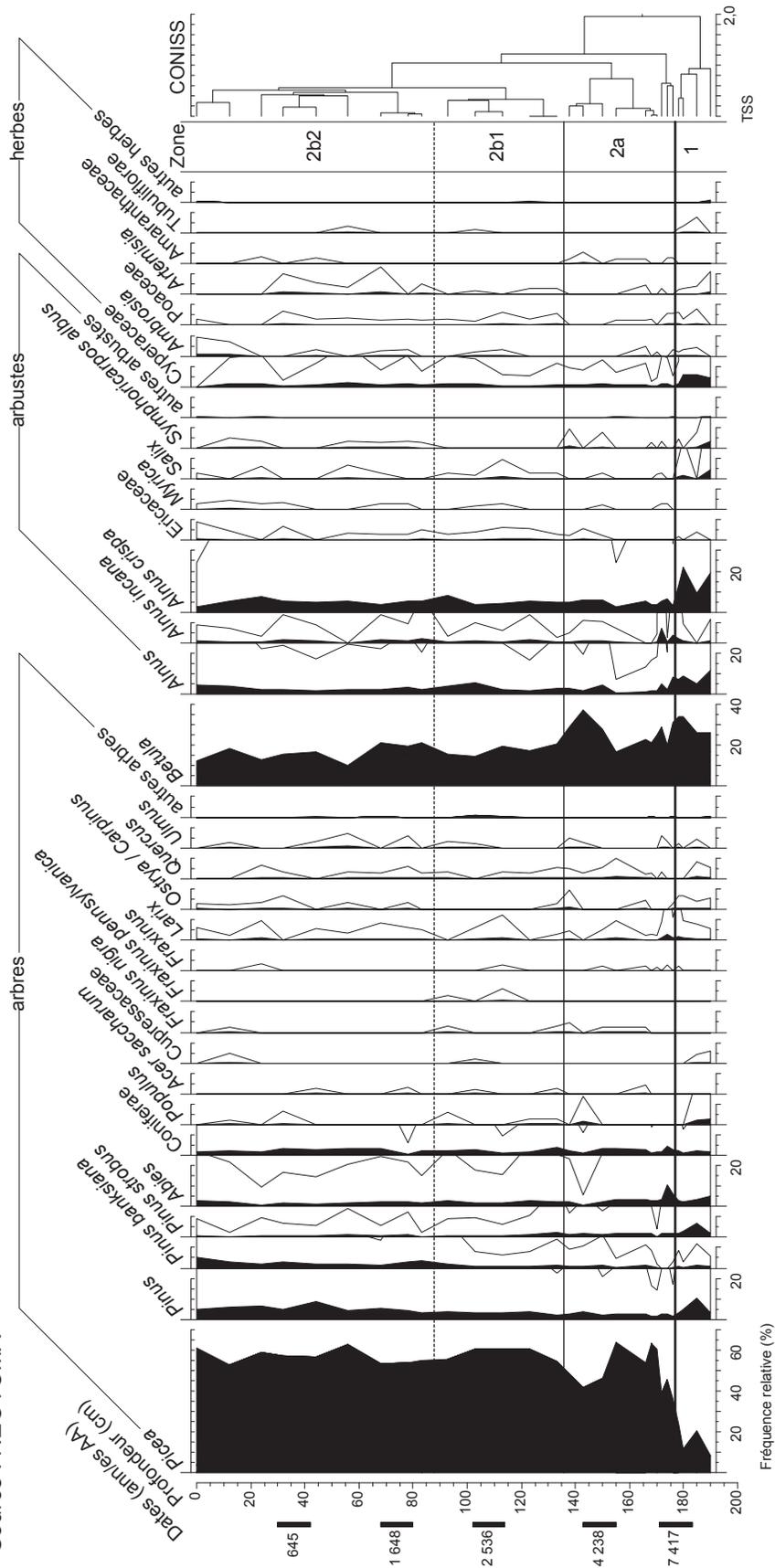
## Annexe 3. (suite)

d) HARRIE – Harrie Lake – 66 ha – secteur de la PLOL  
 52° 56' N., 66° 57' O. – alt. 530 m (PL)  
 King (1986)  
 Source : NEOTOMA



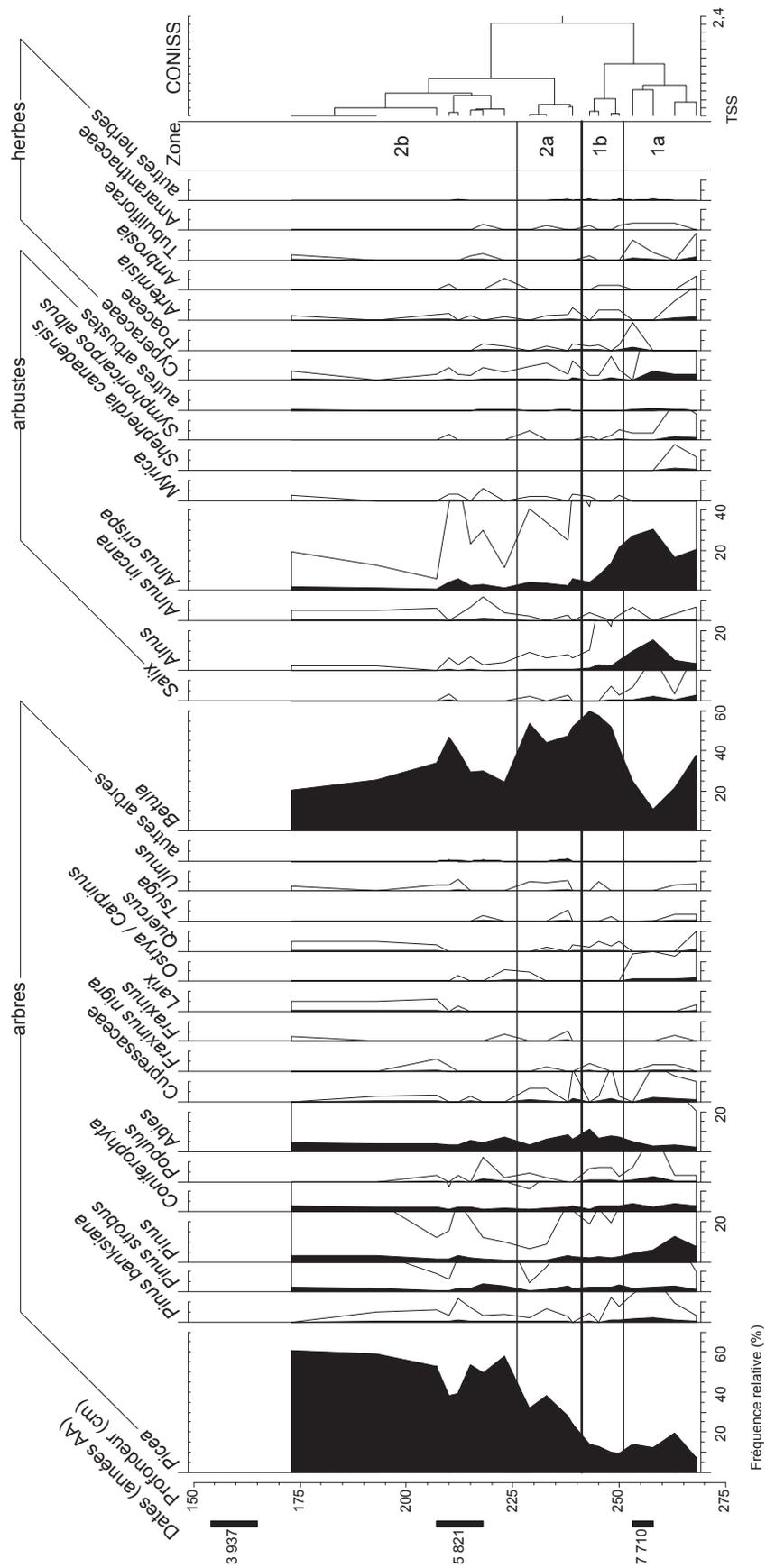
Annexe 3. (suite)

e) GRAS – lac Gras – 284 ha – secteur de la PLOL  
 52° 15' N., 67° 04' O. – alt. 530 m (PL/PM)  
 King (1986)  
 Source : NEOTOMA



Annexe 3. (suite)

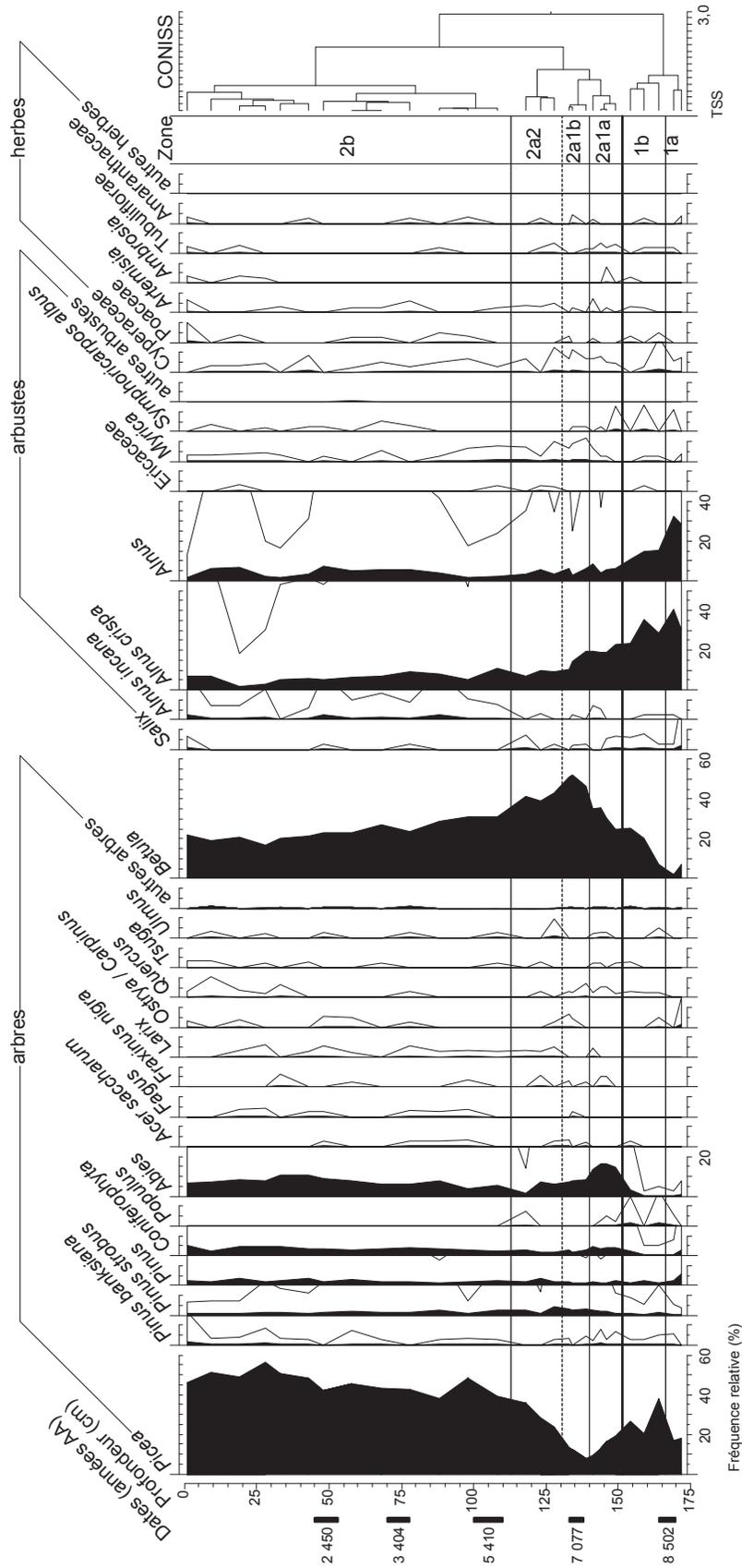
f) SABLE – lac au Sable – 100 ha – secteur de la PLOL  
 51° 24' N., 66° 13' O. – alt. 530 m (PM)  
 King (1986)  
 Source : NEOTOMA



Annexe 3. (suite)

g) PETEL – lac Petel – 122 ha – secteur de la PMCN  
 50° 33' N., 66° 16' O. – alt. 290 m (PM)  
 King (1986)

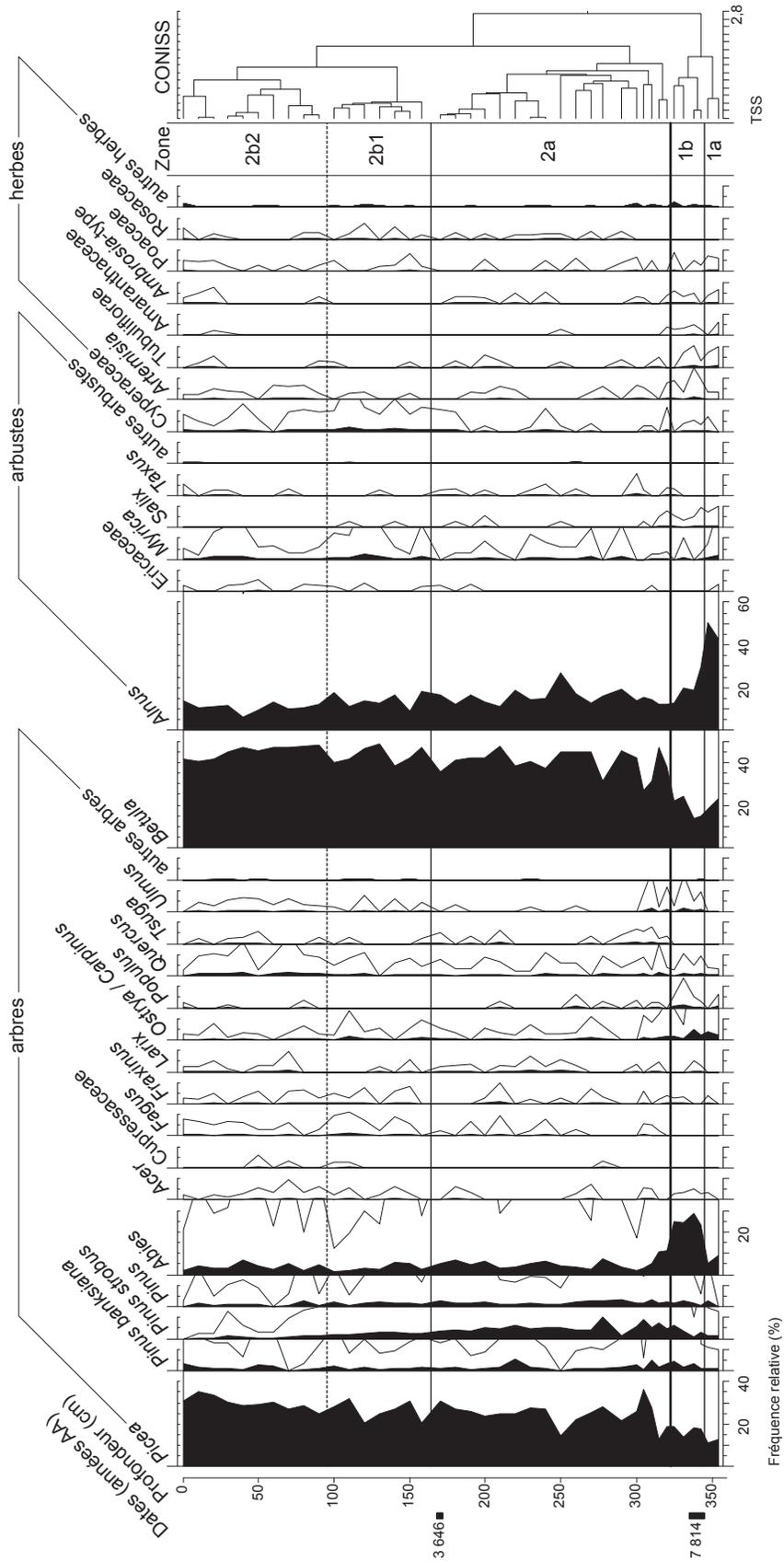
Source : NEOTOMA





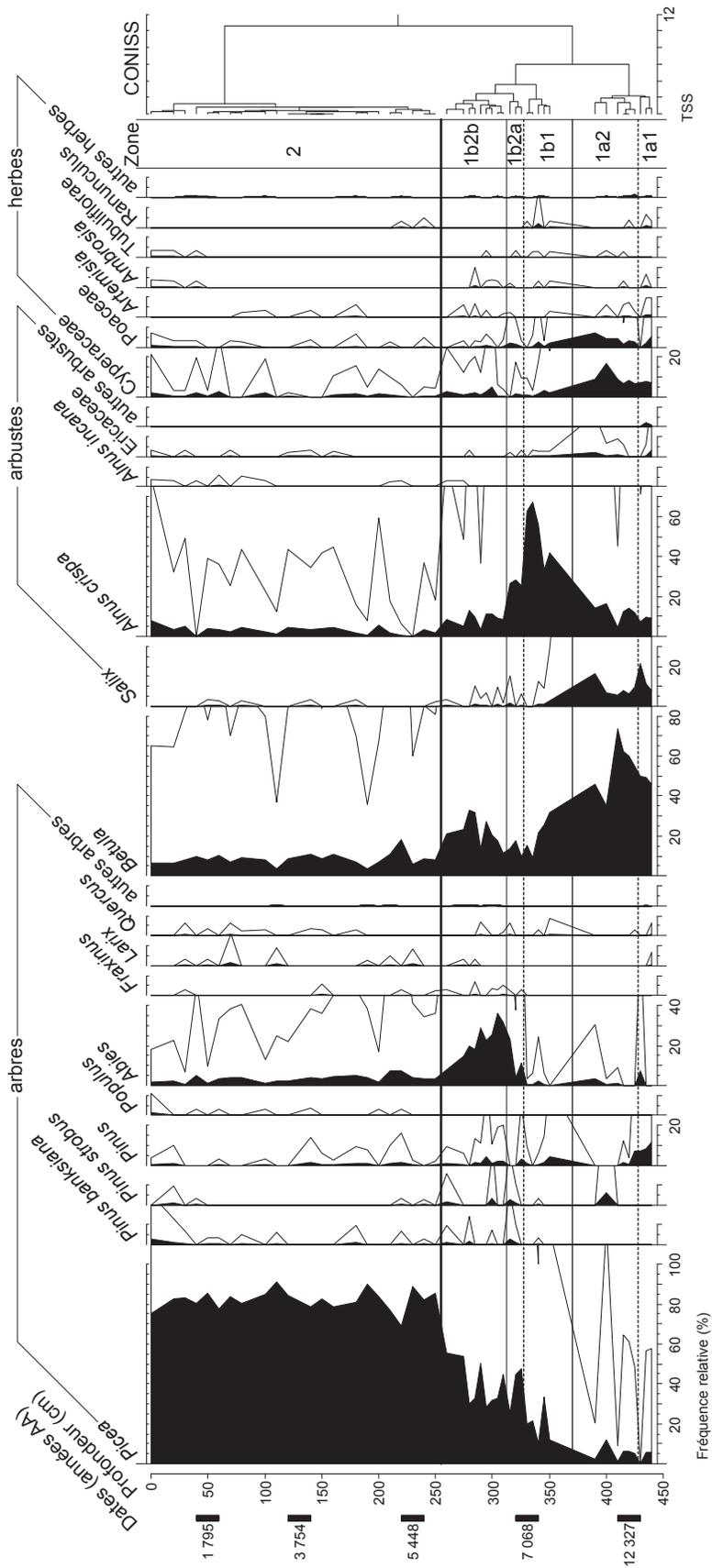
Annexe 3. (suite)

i) LD – LD Lake – 0,6 ha – secteur de la PMCN  
 50° 08' N., 67° 08' O. – alt. 122 m (PM)  
 Mott (1976)  
 Source : NEOTOMA



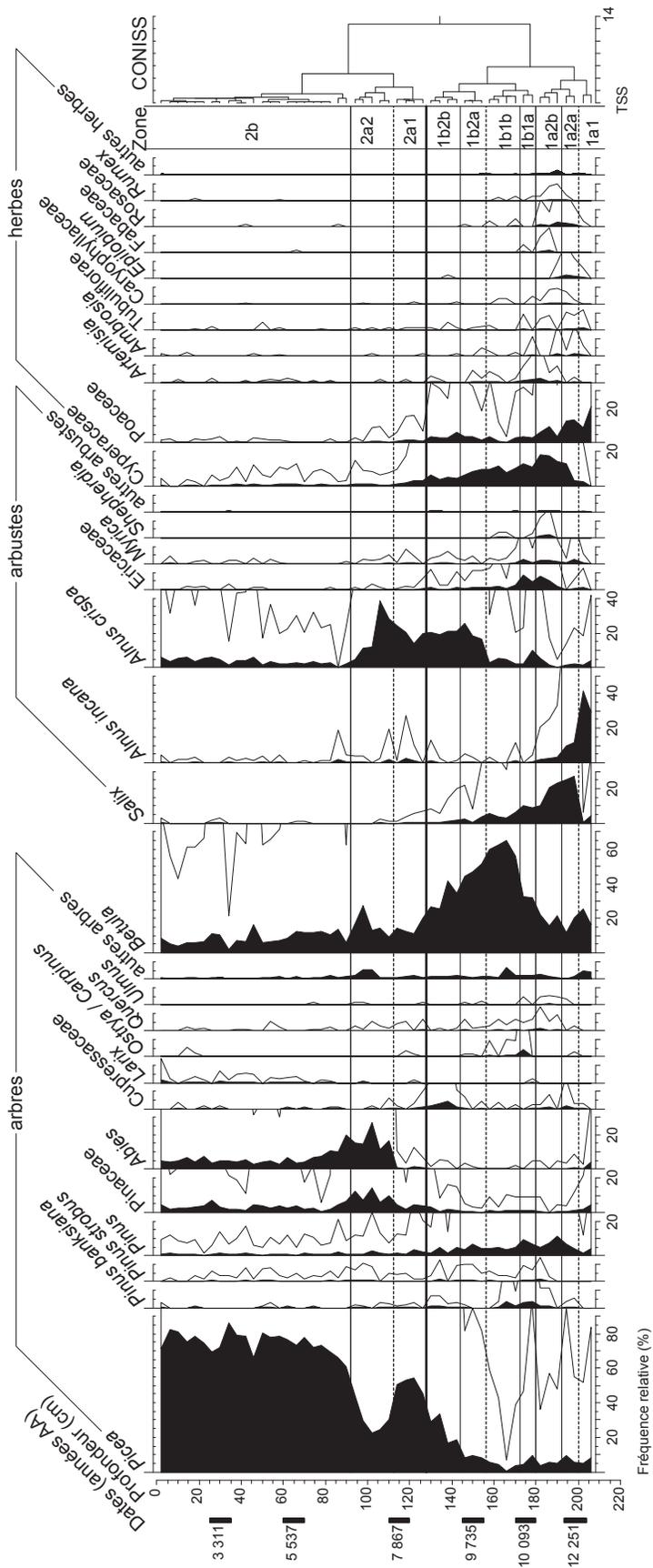
## Annexe 3. (suite)

j) EAGLE – Eagle Lake – 750 ha – secteur de la PMSL  
 53° 14' N., 58° 33' O. – alt. 400 m (PL)  
 Lamb (1980)  
 Source : NEOTOMA



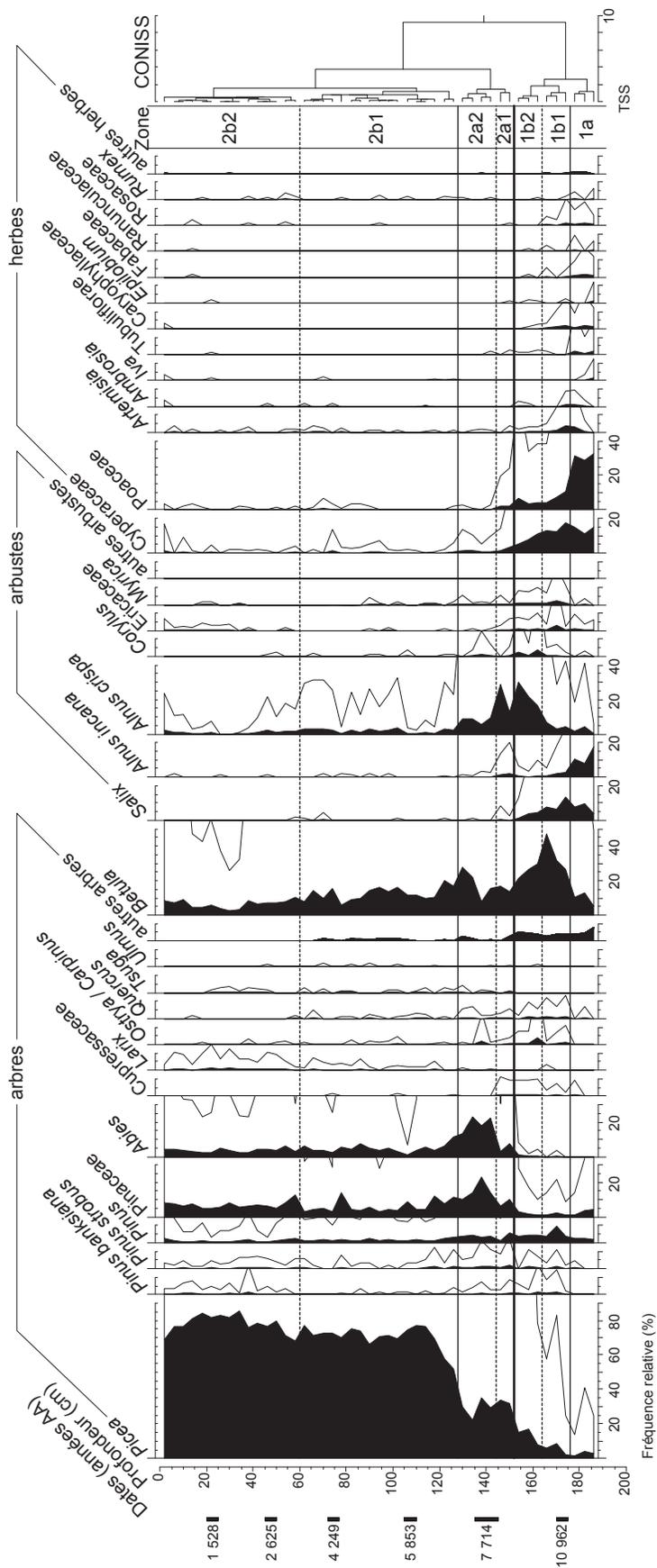
Annexe 3. (suite)

k) HOPESIM – Hope Simpson Lake – 65 ha – secteur de la PMSL  
 52° 27' N., 56° 26' O. – alt. 295 m (PM)  
 Engstrom et Hansen (1985)  
 Source : NEOTOMA



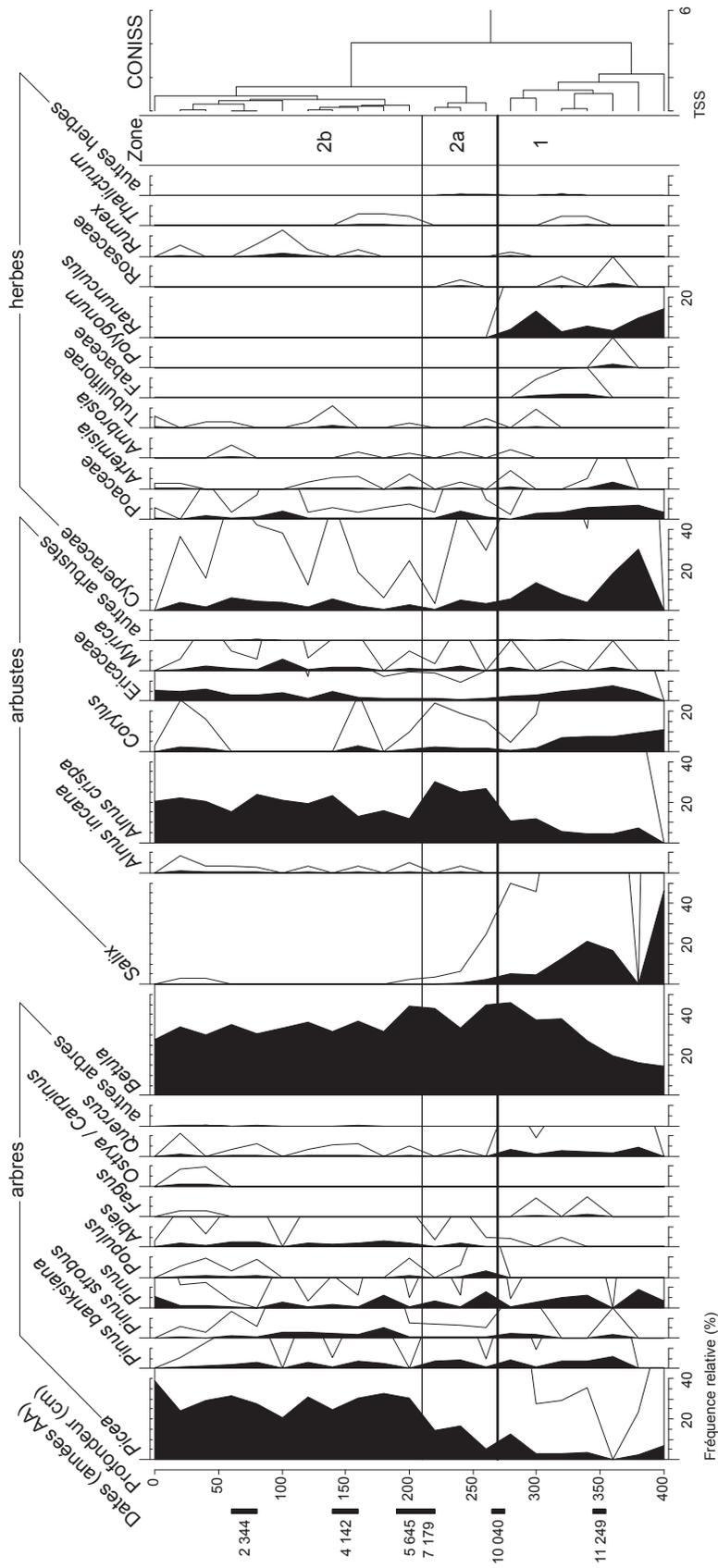
## Annexe 3. (suite)

1) MORAINÉ – Moraine Lake – 45 ha – secteur de la PMSL  
 52° 16' N., 58° 03' O. – alt. 385 m (PM)  
 Engstrom et Hansen (1985)  
 Source : NEOTOMA



Annexe 3. (suite)

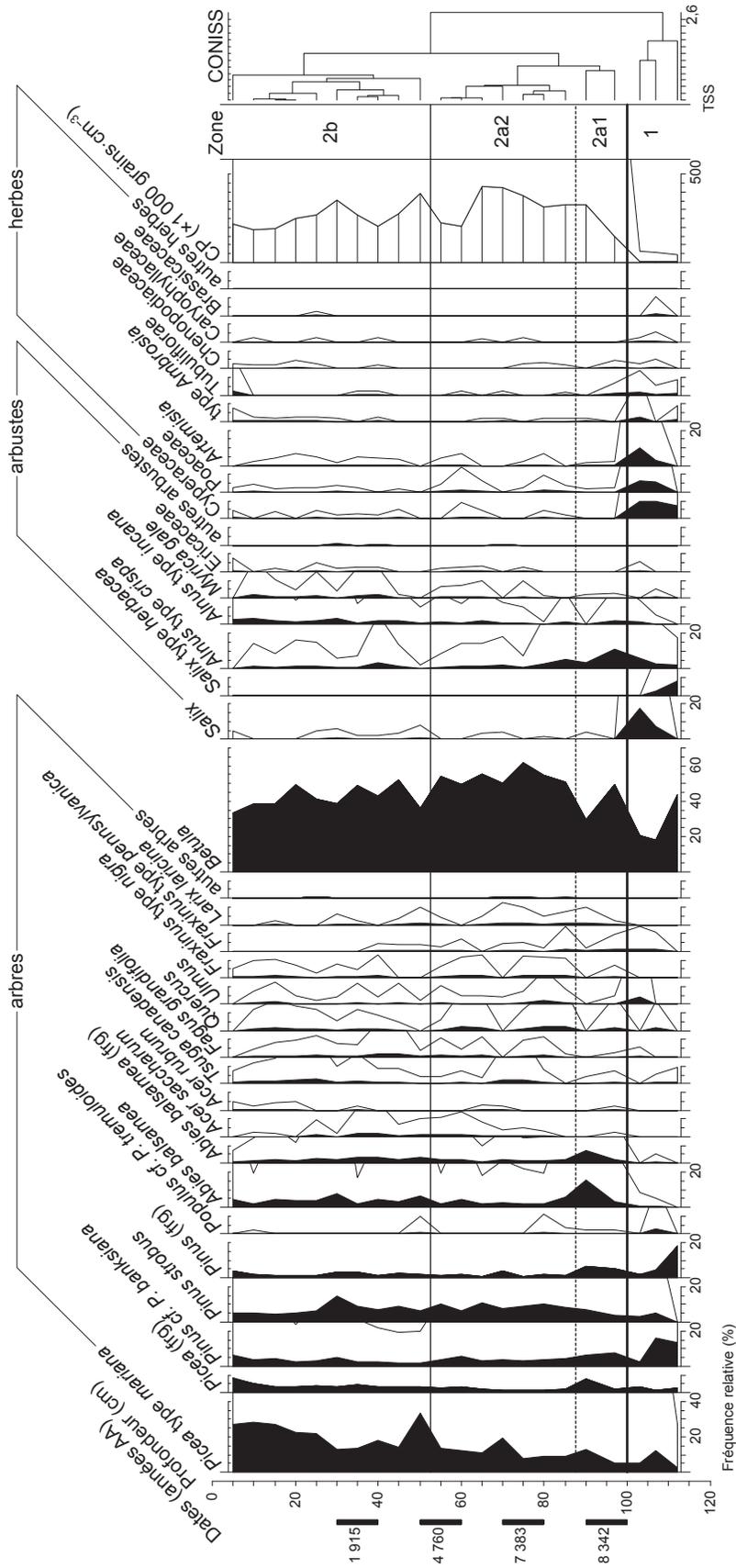
m) WHITNEY – Whitney's Guich (lac) – 5,5 ha – secteur de la PMSL  
 51° 31' N., 57° 18' O. – alt. 98 m (PM)  
 Lamb (1980)  
 Source : NEOTOMA





Annexe 3. (suite)

o) MADE – lac Madeleine – 8,29 ha – secteur de la SBRN  
 47° 40' N., 70° 43' O. – alt. 800 m (SBb)  
 Bussières (1992)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau













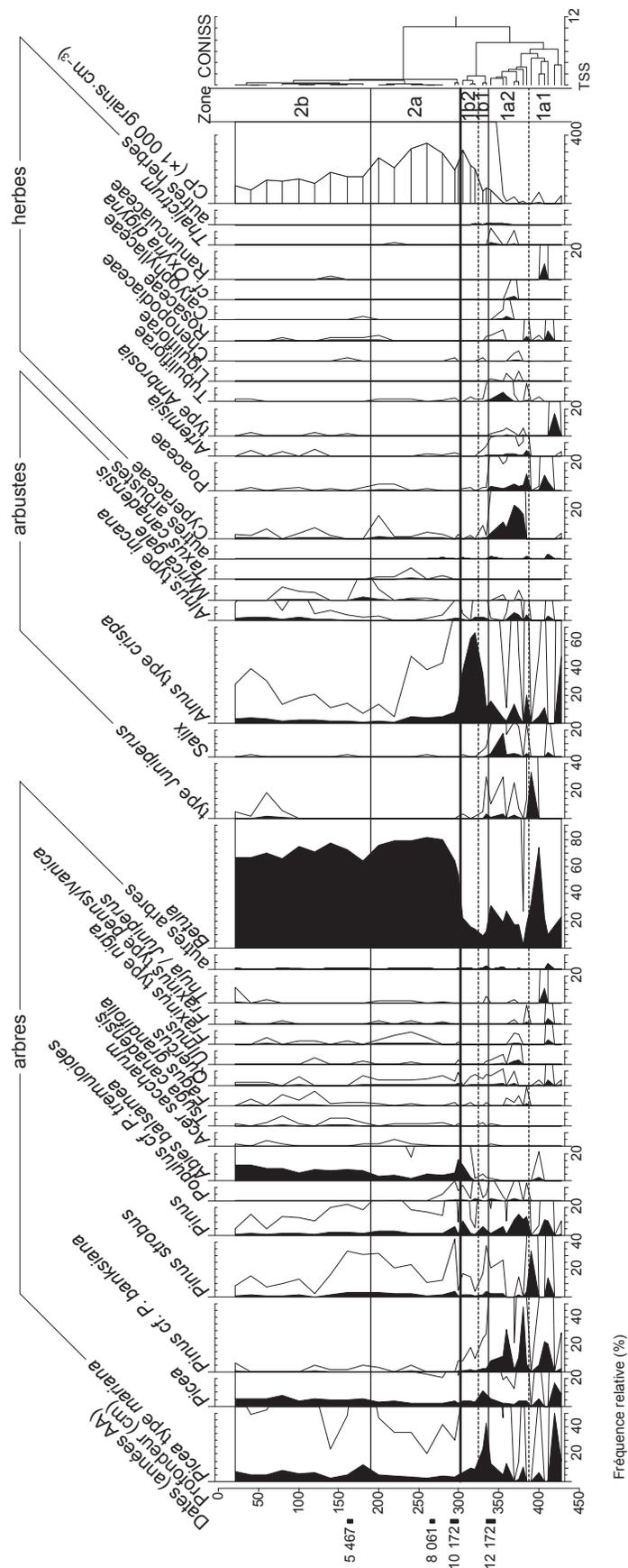






## Annexe 3. (suite)

x) TUR – lac Turcotte – 10 ha – secteur de la SBCG  
 49° 09' N., 65° 46' O. – alt. 447 m (SBb)  
 Labelle et Richard (1984)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



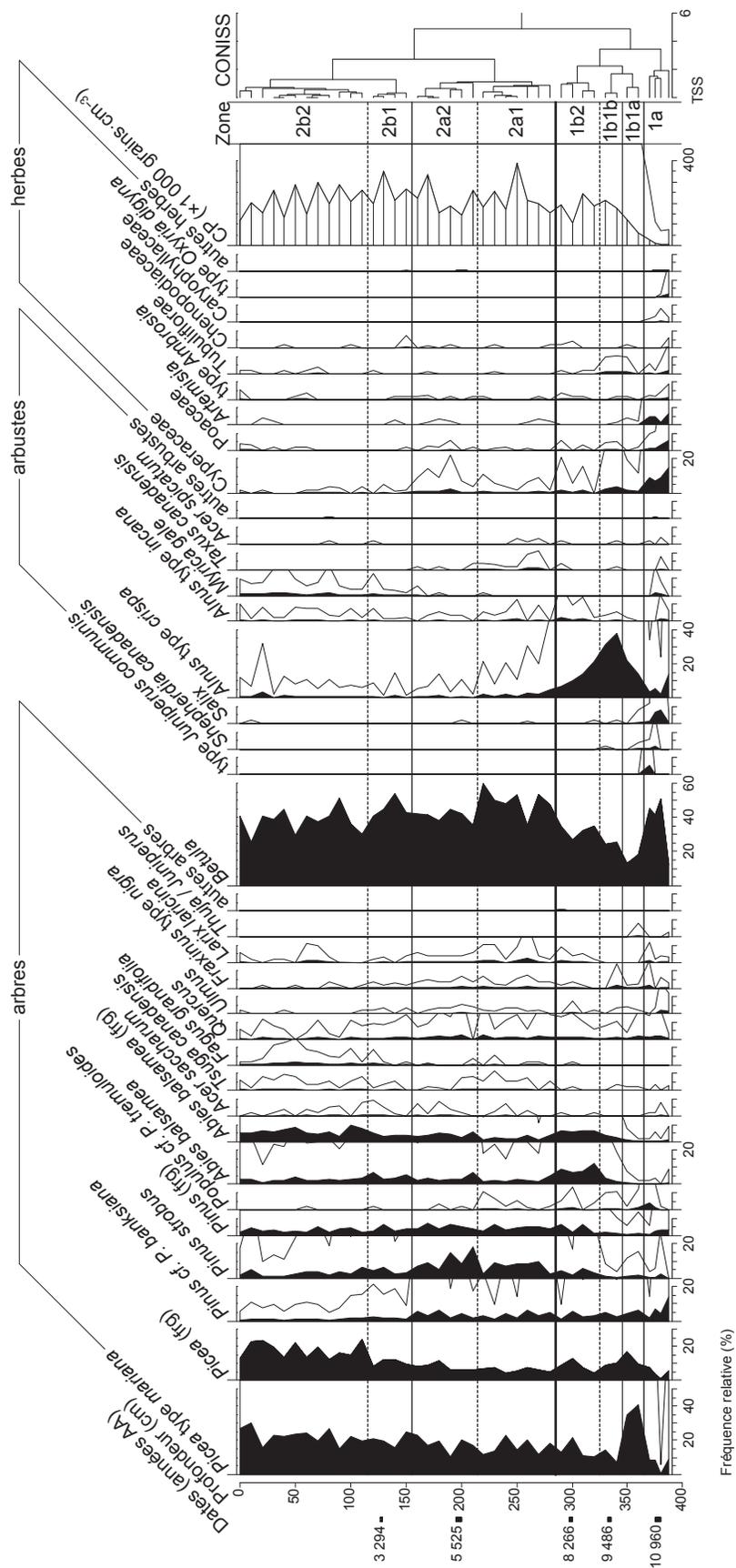






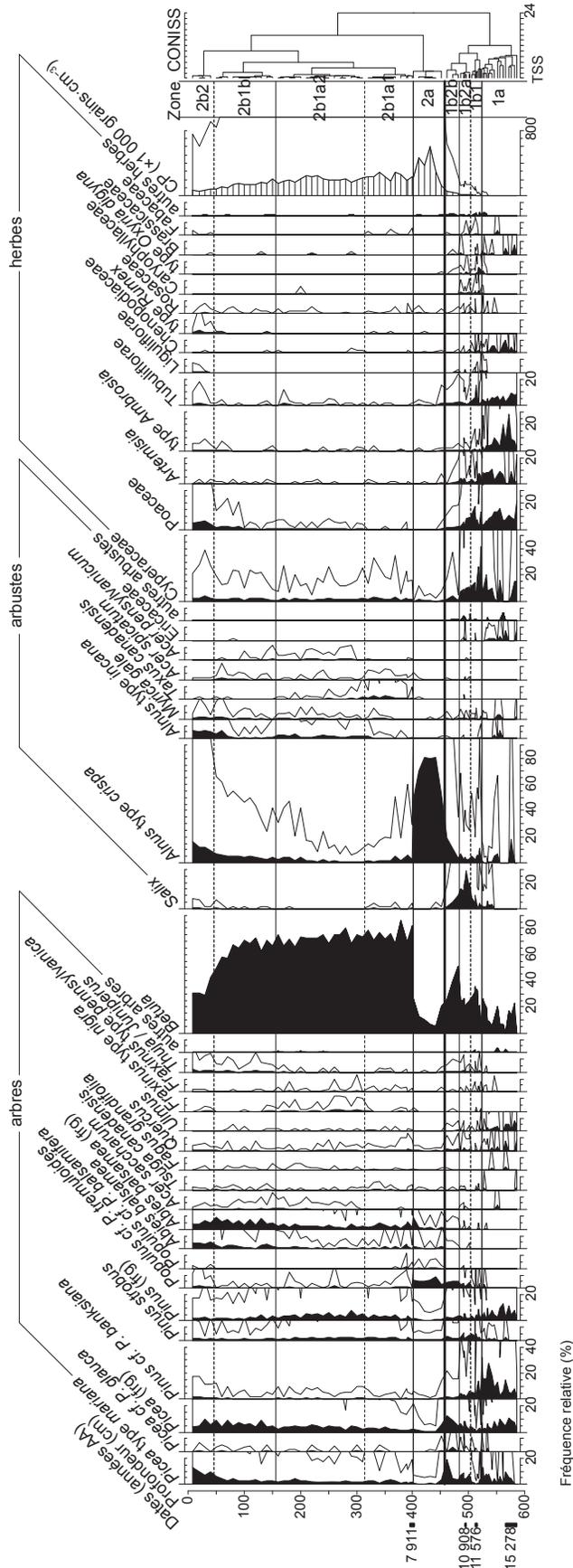
Annexe 3. (suite)

bb) TRIANG – lac Triangle – 1,5 ha – secteur de la SBCG  
 48° 43' N., 65° 25' O. – alt. 465 m (SBb)  
 Asnong (2001), Asnong et Richard (2003)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



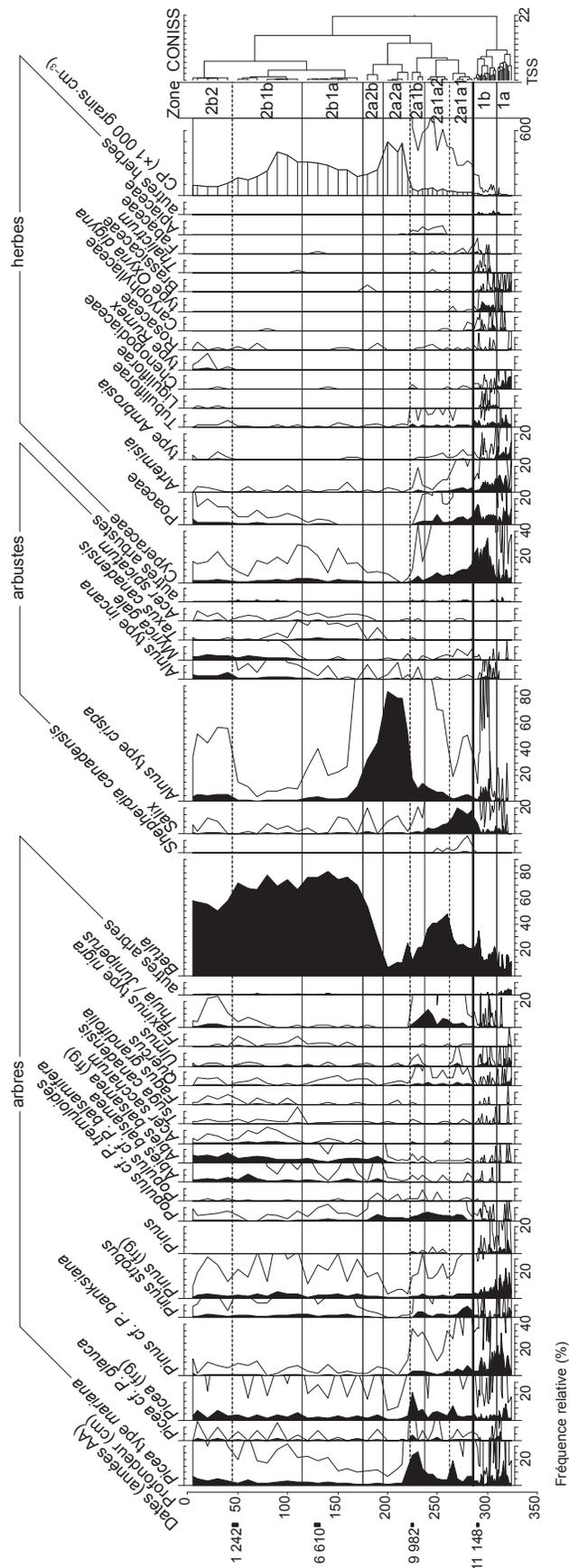
Annexe 3. (suite)

cc) JARX – lac J'Arrive – carotte composite – 2,4 ha – secteur de la SJNG  
 49° 15' N., 65° 22' O. – alt. 56 m (SBJ)  
 Marcoux (1993), Marcoux et Richard (1995)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



Annexe 3. (suite)

dd) EULX – lac à Euloge – carotte composite – 1,2 ha – secteur de la SJNG  
 49° 15' N., 65° 22' O. – alt. 83 m (SBj)  
 Marcoux (1993), Marcoux et Richard (1995)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

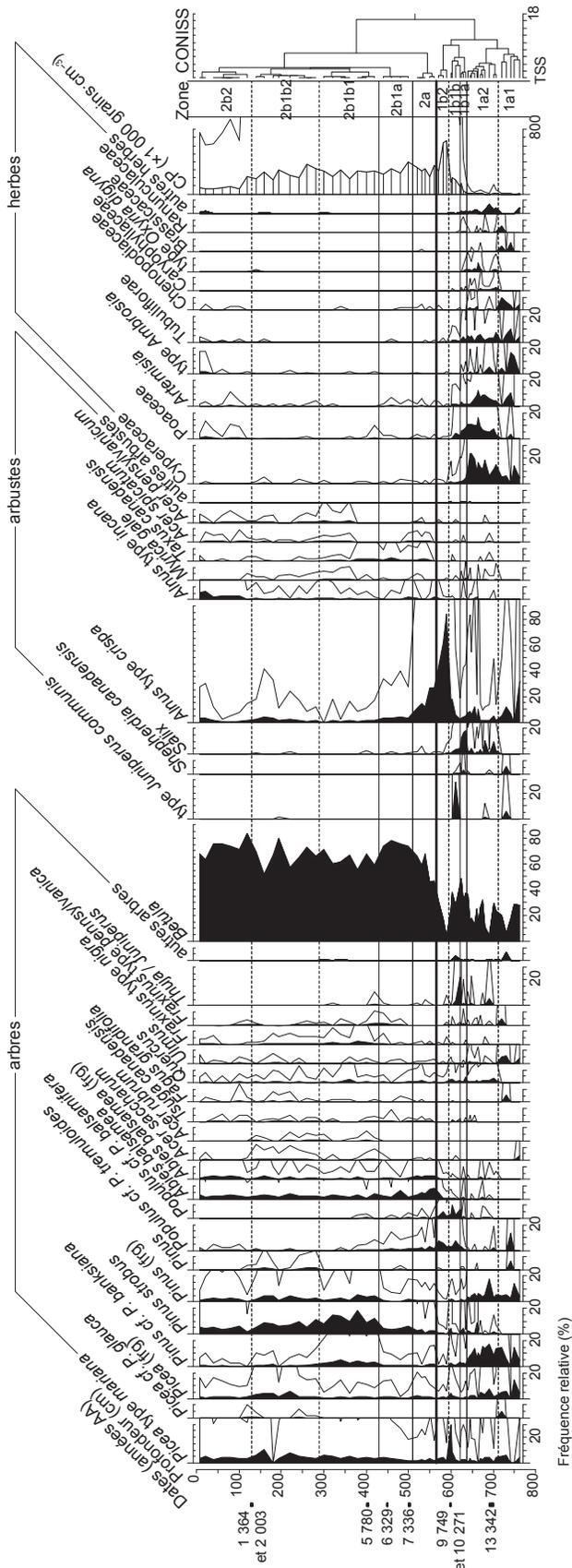


Annexe 3. (suite)

ee) PERDU – lac Perdu (Ruisseau Castor) – 0,5 ha – secteur de la SJNG  
 49° 10' N., 66° 19' O. – alt. 152 m (SBJ)

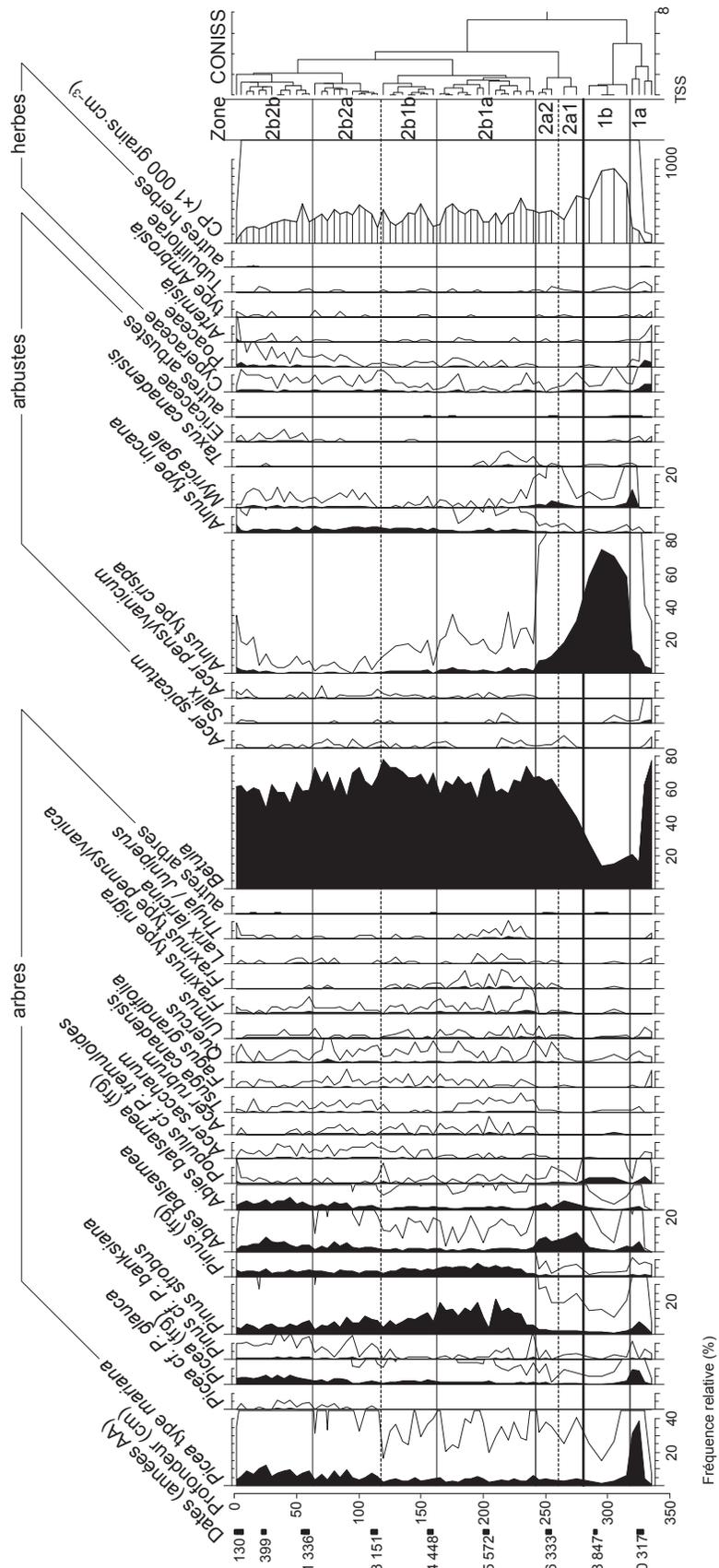
Labelle et Richard, inédit

Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



Annexe 3. (suite)

ff) BOUCHX – Petit lac Bouchard – carotte composite – 2 ha – secteur de la SJNG  
 48° 56' N., 64° 36' O. – alt. 145 m (SBj)  
 Asnong (2001), Asnong et Richard (2003)  
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau









**Annexe 4.** Dates au radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ), en années conventionnelles, et âges étalonnés des 35 sites à l'étude. Les dates dont la cellule est en gris n'ont pas été considérées lors de la construction des modèles âge-profondeur avec le programme CLAM 2.2 (Blaauw 2010; voir le supplément 1, disponible à part).

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)			Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)			
		Moyenne	Épaisseur	Minimum			Maximum	Mesurée	Corrigée	Écart	Delta $^{14}\text{C}$	Calib 7.0 (IntCal13)	CLAM 2.2 (IntCal13)	Probabilité
Centre-nord du Québec (PLCN)	Daurmont (lac) (DAU)	62,5	5	60	65	GSC-3187		2 460	150	-29,8	2 532	2 294	2 849	88,9
		117,5	5	115	120	GSC-3177		4 480	100	-29,5	5 125	4 855	5 324	92,8
		157,5	5	155	160	GSC-3052		5 490	80	-28,1	6 289	6 174	6 448	88,6
	Delorme - 1 (lac) (DEL1)	17,5	5	15	20	GSC-3309		560	180	-27,6	556	281	912	94,0
		77,5	5	75	80	GSC-3303		2 740	130	-28,0	2 872	2 679	3 218	88,7
Ouest du Labrador (PLOC)	Coghill Lake (COGHILL)	127,5	5	125	130	GSC-3301		3 870	170	-30,2	4 288	3 871	4 726	91,7
		177,5	5	175	180	GSC-3139		5 330	120	-29,2	6 108	5 893	6 324	93,0
		121,5	7	118	125	WIS-1552	sédiment en vrac	3 350	70		3 590	3 445	3 728	90,0
	159,0	8	155	163	WIS-1553	sédiment en vrac	4 100	70		4 629	4 499	4 825	86,4	
		193,5	7	190	197	GSC-3625	sédiment en vrac	5 400	90		6 184	5 987	6 322	91,2
Côte-Nord (PMCN)	Harrie Lake (HARRIE)	200,0	10	195	205	WIS-1503	sédiment en vrac	2 440	70		2 525	2 354	2 714	95,0
		301,0	12	295	307	WIS-1501	sédiment en vrac	3 290	80		3 524	3 362	3 700	95,0
		401,0	12	395	407	WIS-1500	sédiment en vrac	4 250	80		4 786	4 567	4 978	92,1
	481,0	12	475	487	WIS-1499	sédiment en vrac	4 500	80		5 145	4 947	5 320	88,1	
		553,0	12	547	559	WIS-1498	sédiment en vrac	4 990	80		5 735	5 601	5 900	95,0
lac Gras (GRAS)	590,0	20	580	600	GSC-3616	sédiment en vrac	6 030	110		6 890	6 640	7 169	95,0	
	36,0	12	30	42	WIS-1545	sédiment en vrac	690	70		645	542	732	95,0	
	74,0	12	68	80	WIS-1544	sédiment en vrac	1 730	70		1 648	1 521	1 823	93,6	
	108,0	12	102	114	WIS-1543	sédiment en vrac	2 450	70		2 536	2 356	2 716	95,0	
	149,0	12	143	155	WIS-1542	sédiment en vrac	3 830	70		4 238	4 078	4 421	91,8	
Sable (lac au) (SABLE)	177,0	12	171	183	GSC-3615	sédiment en vrac	6 510	110		7 417	7 245	7 592	94,3	
	159,5	11	154	165	WIS-1554	sédiment en vrac	3 620	70		3 937	3 815	4 097	84,9	
	212,5	11	207	218	WIS-1555	sédiment en vrac	5 090	70		5 821	5 661	5 943	93,3	
	255,5	5	253	258	GSC-3720	sédiment en vrac	6 860	100		7 710	7 567	7 878	90,8	
	49,0	8	45	53	WIS-1580	sédiment en vrac	2 380	70		2 450	2 310	2 716	94,9	
Petel (lac) (PETEL)	74,0	8	70	78	WIS-1581	sédiment en vrac	3 180	70		3 404	3 235	3 563	95,0	
	105,0	10	100	110	WIS-1582	sédiment en vrac	4 670	70		5 410	5 287	5 587	93,8	
	135,5	5	133	138	WIS-1583	sédiment en vrac	6 180	80		7 077	6 887	7 263	95,0	
	167,0	6	164	170	GSC-3716	sédiment en vrac	7 710	90		8 502	8 350	8 661	93,3	
	434,5	1	434	435	QU-34		4 180	180		4 705	4 246	5 088	88,3	
Matamek (lac) (MATAMEK)	568,5	1	568	569	QU-503		4 990	290		5 730	5 041	6 323	94,2	
	712,5	1	712	713	QU-539		5 830	150		6 647	6 312	6 988	95,0	
	949,5	1	949	950	QU-346		6 990	170		7 825	7 570	8 165	95,0	
	170,0	4	168	172	GSC-2032	sable et silt organique	3 390	110		3 646	3 392	3 898	95,0	
	340,0	10	335	345	GSC-1811	gyttja	6 960	300		7 814	7 324	8 377	95,0	

## Annexe 4. (suite)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)			Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal			Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)					
		Moyenne	Épaisseur	Minimum			Maximum	Date <sup>14</sup> C AA-1950	Delta <sup>13</sup> C	Écart	Mesurée	Corrigée	Étendue (95 %)	CLAM 2.2 (IntCal13)	Probabilité
		50,0	20	40	60	SI-3343	gytija brune	1 860	45	1 795	1 699	1 895	94,7		
	Eagle Lake (EAGLE)	130,0	20	120	140	SI-3344	gytija brune	3 480	80	3 754	3 568	3 930	93,0		
		230,0	20	220	240	SI-3345	gytija brun-vert	4 740	160	5 448	5 036	5 759	91,7		
		330,0	20	320	340	SI-3138	gytija verdâtre	6 170	80	7 068	6 882	7 260	94,6		
		420,0	20	410	430	SI-3139	gytija grisâtre	10 550	290	12 327	11 598	13 022	92,9		
		30,0	10	25	35	GSC-3158	gytija brune	3 110	70	3 311	3 156	3 473	94,2		
		65,0	10	60	70	GSC-3153	gytija brune	4 820	80	5 537	5 446	5 715	82,2		
	Hope Simpson Lake (HOPESIMP)	115,0	10	110	120	GSC-3140	gytija brune	7 040	80	7 867	7 700	7 984	93,7		
		150,0	10	145	155	GSC-3109	gytija brune	8 680	150	9 735	9 470	10 170	95,0		
		175,0	10	170	180	GSC-3093	gytija silteuse	9 000	130	10 093	9 701	10 435	93,8		
		198,5	11	193	204	GSC-3022	gytija silteuse	10 400	140	12 251	11 802	12 657	95,0		
Sud du Labrador (PWSL)		22,5	5	20	25	GSC-3212	gytija brune	1 630	80	1 528	1 359	1 707	95,0		
		47,5	5	45	50	GSC-3209	gytija brune	2 570	130	2 625	2 347	2 924	95,0		
	Moraine Lake (MORAINE)	74,5	5	72	77	GSC-3196	gytija brune	3 840	90	4 249	4 057	4 442	87,0		
		107,5	5	105	110	GSC-3172	gytija brune	5 110	120	5 853	5 609	6 033	85,5		
		140,0	10	135	145	GSC-3162	gytija brune	6 870	80	7 714	7 581	7 857	93,5		
		172,5	5	170	175	GSC-3067	gytija silteuse	9 640	170	10 962	10 498	11 406	94,1		
		70,0	20	60	80	SI-3340	gytija brune	2 320	70	2 344	2 147	2 504	87,4		
		150,0	20	140	160	SI-3341	gytija brune	3 765	95	4 142	3 903	4 413	95,0		
		200,0	20	190	210	SI-3342	gytija brune	4 910	55	5 645	5 581	5 749	91,9		
	Whitney's Gulch (WHITNEY)	215,0	10	210	220	SI-3135A	gytija brun-vert	6 275	130	7 179	6 882	7 433	95,0		
		215,0	10	210	220	SI-3135	gytija brun-vert	9 940	500	11 536					
		270,0	10	265	275	SI-3136	gytija verdâtre	8 965	150	10 040	9 608	10 427	94,5		
		350,0	10	345	355	SI-3137	gytija verdâtre	9 820	110	11 249	11 066	11 642	84,9		
		28,5	11	23	34	BETA-30104		2 910	80	3 056	2 854	3 252	93,0		
		70,5	11	65	76	BETA-30102		4 260	120	4 816	4 517	5 073	87,0		
	Main (lac à la) (MAIN)	91,5	11	86	97	BETA-30101		5 120	90	5 855	5 652	6 023	90,5		
		133,5	11	128	139	BETA-30100		7 290	130	8 115	7 927	8 374	93,5		
		154,5	11	149	160	BETA-30099		7 960	140	8 823	8 506	9 140	91,1		
Nord du Saint-Laurent (SBRN)		170,0	10	165	175	BETA-37342			100	9 729	9 529	9 954	85,7		
		35,0	10	30	40	BETA-30108		1 960	110	1 914	1 689	2 155	91,1		
	Madeleine (lac) (MADE)	55,0	10	50	60	BETA-30107		4 240	100	4 760	4 516	5 048	93,6		
		75,0	10	70	80	BETA-30106		6 480	130	7 384	7 160	7 611	95,0		
		95,0	10	90	100	BETA-30105		7 540	130	8 342	8 152	8 591	91,0		

## Annexe 4. (suite)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)		Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)					
		Moyenne	Épaisseur			Minimum	Maximum	Date <sup>14</sup> C AA-1950	Mesurée	Corrigée	Écart	Delta <sup>13</sup> C	Callib 7.0 (IntCal13)	CLAM 2.2 (IntCal13)	Probabilité
Nord du Saint-Laurent (SBRN) suite	Mimi (lac) (MIMI)	405,0	10	400	410	QU-54	7770		130			8587	8379	8818	81,3
		430,0	10	425	435	QU-70	9460		280			10 759	10 134	11 625	93,8
		475,0	10	470	480	QU-67	9770		260			11 199	10 490	12 088	94,8
		485,0	10	480	490	i-7159	9945		225			11 506	10 759	12 185	93,6
		507,5	15	500	515	QU-55	11 050		460			12 895	11 762	13 986	95,0
	Ange (lac à l') (ANGE)	95,0	10	90	100	GX-5321	885		160			827	624	1 091	88,9
		195,0	10	190	200	GX-5322	2 575		165			2 636	2 308	3 072	94,7
		295,0	10	290	300	GX-5323	4 365		170			4 986	4 522	5 332	91,3
		395,0	10	390	400	GX-5324	6 410		215			7 294	6 846	7 675	94,5
		488,5	7	485	492	GX-5326	9 605		350			10 971	10 153	12 159	94,6
Marcotte (lac) (MARC)	495,0	10	490	500	GX-5325	9 855		305			11 364	10 549	12 392	94,8	
	495,5	7	492	499	GX-5327	9 560		245			10 883	10 241	11 508	93,1	
	503,0	8	499	507	GX-5328	10 710		215			12 589	12 053	13 057	95,0	
	95,0	10	90	100	WIS-1064		4 040	80	-31,1		4 542	4 385	4 823	91,7	
	190,0	10	185	195	WIS-1066		6 920	85	-29,7		7 761	7 616	7 882	86,9	
	275,0	10	270	280	WIS-1065		8 940	90	-32,9		10 033	9 761	10 241	94,2	
	293,5	7	290	297	GX-5329		8 935	280			10 029	9 429	10 780	94,9	
	300,5	7	297	304	GX-5330		9 885	230			11 404	10 675	12 158	94,8	
	97,5	5	95	100	TO-3612		1 940	50	-25,0		1 889	1 777	1 996	93,0	
	282,5	5	280	285	TO-3752		5 180	50	-25,0		5 940	5 874	6 022	79,7	
Montagne Ronde (lac de la) (MORO)	197,5	5	195	200	TO-3613		5 450	60	-25,0		6 245	6 175	6 355	82,8	
	292,5	5	290	295	TO-3614		5 620	90	-25,0		6 412	6 281	6 574	89,4	
	392,5	5	390	395	TO-3615		8 210	80	-25,0		9 185	9 009	9 334	85,8	
	412,5	5	410	415	TO-3616		9 220	150	-25,0		10 420	10 128	10 792	91,3	
	460,0	10	455	465	TO-3753		9 630	780	-25,0		11 051	9 402	13 068	94,9	
Fourche (lac à la) (FOURX)	87,5	5	85	90	BETA-12873		2 760	80	-30,0		2 873	2 749	3 061	95,0	
	227,5	5	225	230	BETA-12874		6 270	140	-29,5		7 170	6 849	7 434	94,6	
	277,5	5	275	280	BETA-12875		8 380	140	-28,8		9 348	9 013	9 563	94,5	
	294,0	8	290	298	BETA-14867		9 200	160	-28,7		10 399	10 107	10 789	88,3	
	312,5	5	310	315	BETA-12876		7 810	250	-27,4		8 686				
Beazley (lac) (BEAZ)	92,5	5	90	95	UCIAMS-59578		1 170	20	-27,6		1 106	1 054	1 176	88,3	
	112,0	6	109	115	BETA-281284		2 610	40	-28,5		2 748	2 700	2 795	89,2	
	171,0	2	170	172	BETA-281285		6 540	40	-25,9		7 455				
	188,0	6	185	191	Beta-242702		3 880	40	-25,6		4 317	4 226	4 418	88,3	
	279,0	6	276	282	UCIAMS-59579		4 400	25	-26,4		4 960	4 874	5 040	95,0	
389,0	8	385	393	BETA-242703		5 220	50	-27,8		5 979	5 906	6 033	70,1		

## Annexe 4. (suite)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)			Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)			
		Moyenne	Épaisseur	Minimum			Maximum	Date <sup>14</sup> C AA-1950	Delta <sup>13</sup> C	Écart	Delta <sup>13</sup> C	Calib 7.0 (IntCal13)	CLAM 2.2 (IntCal13)	Probabilité
Sud de Saint-Laurent (SJRS) <i>suite</i>	Beazley (lac) (BEAZ) <i>suite</i>	503,5	7	500	507	BETA-242704		6300	50	-27,6	7227	7156	7327	89,9
		586,0	8	582	590	BETA-242705		8030	50	-29,2	8892	8705	9030	94,7
	610,0	1	609,5	610,5	BETA-242706		8980	50	-25,2	10175	10116	10237	59,5	
	678,0	2	677	679	BETA-242707	<i>Dryas integrifolia</i> (tige)	10100	60	-27,5	11691	11397	11983	95,0	
	185,0	10	180	190	BETA-8279		4750	130	-29,9	5469	5257	5745	87,7	
	295,0	10	290	300	BETA-8280		7470	140	-32,8	8273	8015	8523	94,3	
	396,0	12	390	402	BETA-8281		10630	160	-26,4	12529				
	107,5	5	105	110	BETA-8265		4670	130	-23,2	5380	5034	5648	93,5	
	189,5	9	185	194	BETA-8266		7170	120	-24,3	7996	7733	8207	93,7	
	253,5	13	247	260	GIF-4901		9140	120		10334	10122	10602	89,2	
	164,0	6	161	167	BETA-3928	gyttja	4730	70		5467	5432	5589	58,8	
	287,0	6	264	270	DIC-2164	marne et gyttja	7230	150		8061	7788	8365	95,0	
295,0	10	290	300	BETA-3929	marne et gyttja	9010	70		10172	9910	10274	95,0		
340,0	10	335	345	DIC-2165	marne et gyttja	10360	170		12172	11609	12676	94,7		
Centre de la Gaspésie (SBCG)	Turcotte (lac) (TUR)	47,5	5	45	50	TO-4666		1880	60	-25,0	1818	1694	1949	93,0
		97,5	5	95	100	TO-3724		3300	50	-25,0	3527	3442	3640	91,6
	192,5	5	190	195	TO-4667		3720	60	-25,0	4067	3901	4238	95,0	
	297,5	5	295	300	TO-3726		5930	130	-25,0	6767	6469	7029	90,3	
	382,5	5	360	365	TO-3727		6270	60	-25,0	7198	7141	7315	71,7	
	392,0	4	390	394	TO-3728		7920	70	-25,0	8771	8599	8987	95,0	
	425,0	1	424,5	425,5	TO-3729		8880	70	-25,0	9995	9736	10195	94,6	
	112,5	5	110	115	beta-45816		1190	70	-33,5	1118	972	1266	95,0	
	302,5	5	300	305	beta-45817		3280	80	-27,8	3514	3359	3695	95,0	
	402,5	5	400	405	beta-45818		5020	140	-28,0	5773	5572	6027	87,7	
	502,5	5	500	505	beta-45819		8060	90	-23,2	8940	8643	9144	89,3	
	582,5	5	580	585	beta-45820		9110	130	-22,5	10290	9904	10595	94,2	
592,5	5	590	595	TO-2612		9290	80	-25,0	10474	10258	10668	95,0		
602,5	1	602	603	TO-1430		11550	90		13382					
Dolbeau (lac) (DOLB)	Diable (lac du) (DIAB)	30,0	10	25	35	BETA-7874	gyttja	2530	90		2587	2359	2763	95,0
		75,0	10	70	80	BETA-7875	gyttja	6950	150		7791	7559	8046	94,0
	105,0	10	100	110	BETA-7876	gyttja	9950	150		11491	11121	12035	94,8	
	125,0	10	120	130	BETA-7877	gyttja siltueuse	10230	150		11938	11389	12428	92,8	
	125,0	10	120	130	BETA-7878	gyttja siltueuse	10660	160		12564	12078	12842	95,0	
	157,5	5	155	160	TO-4359		9260	80		10437				
168,0	12	162	174	DIC-2163		7240	300		8072					

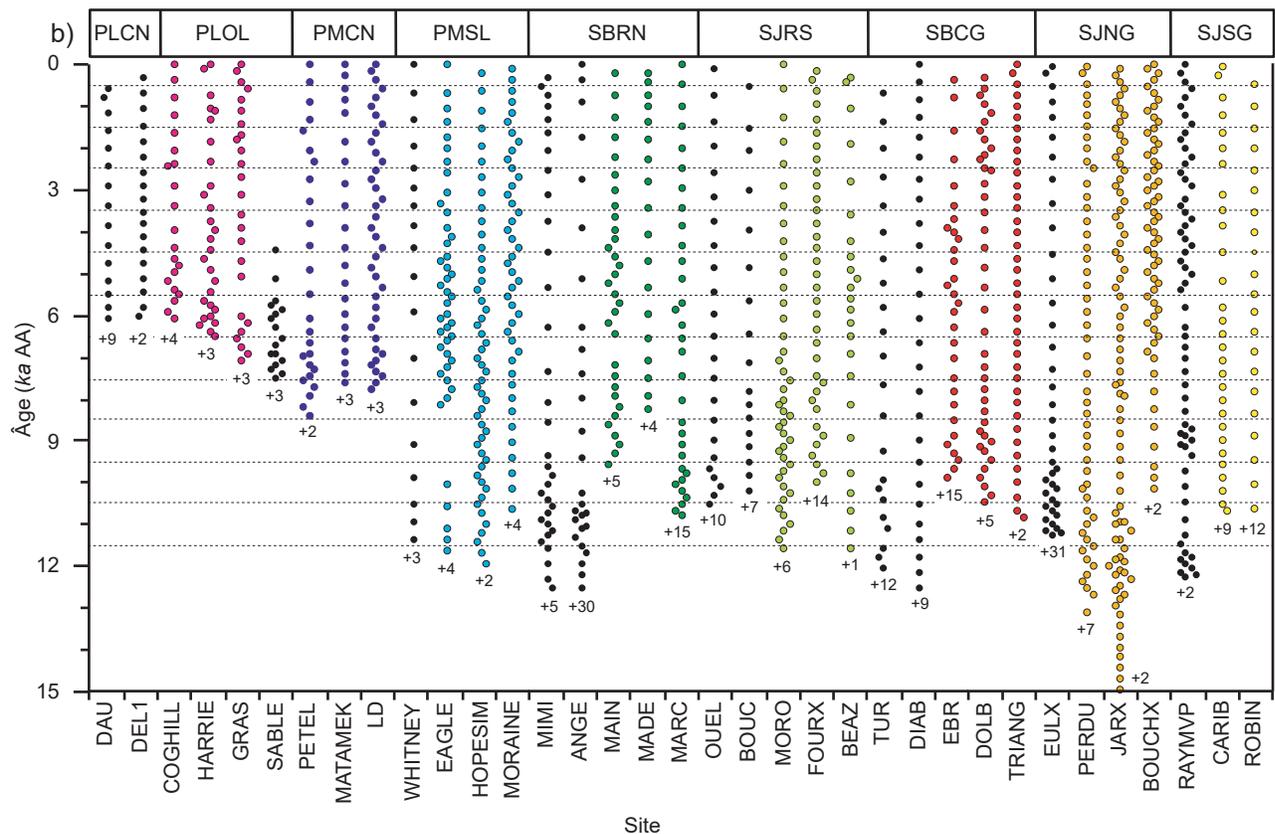
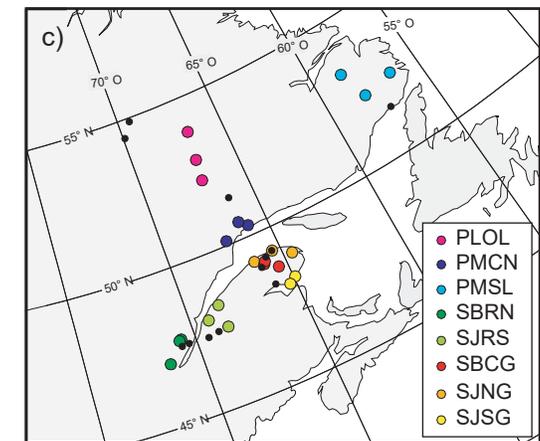
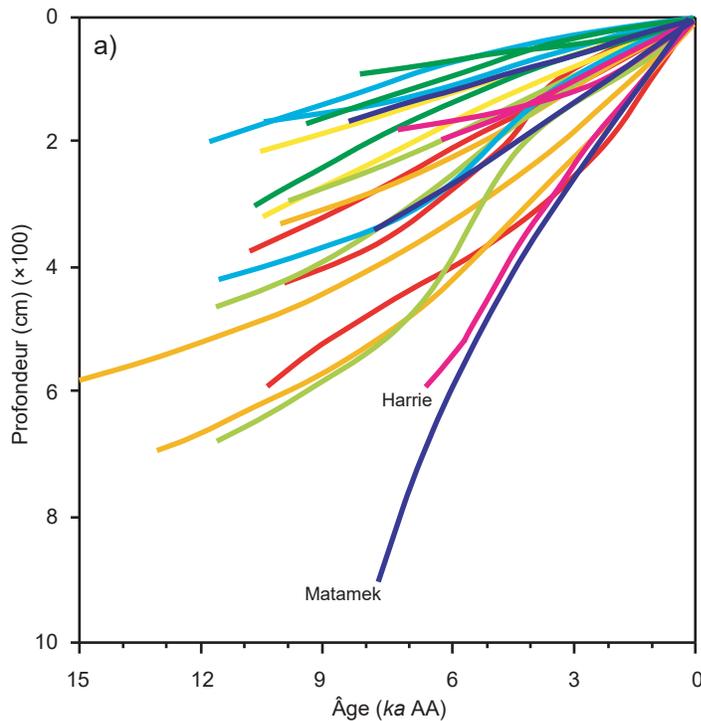
## Annexe 4. (suite)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)			Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)				
		Moyenne	Épaisseur	Minimum			Maximum	Date <sup>14</sup> C AA-1950	Écart	Delta <sup>13</sup> C	Mesurée	Corrigée	Calib 7.0	Étendue (95 %)	Probabilité
													(IntCal13)		
Centre de la Gaspésie (SBCG) suite	Triangle (lac) (TRIANG)	46,25	2,5	45,5	47	CAMS-19236	bois	2110	60	-22,0	2089				
		51,5	3	50	53	TO-7482	macrorestes	2120	110	-25,0	2108				
		127,5				CAMS-19237	macrorestes	3090	50	-22,0	3294	3169	3399	94,8	
		197,5	5	195	200	CAMS-19238	macrorestes	4810	50	-22,0	5525	5464	5644	91,3	
		231,0	6	229	234	TO-7483	macrorestes	4990	130	-25,0	5742				
		298,75	2,5	297,5	300	CAMS-19239	macrorestes	7440	60	-22,0	8266	8166	8382	95,0	
		333,75	2,5	332,5	335	CAMS-19240	bois	8470	60	-22,0	9486	9401	9546	92,7	
		377,5	5	375	380	CAMS-19241	macrorestes	9630	60	-22,0	10960	10771	11183	95,0	
		150,0	5	147,5	152,5	BETA-50195	gyttja	3880	90	-30,2	4299				
		398,75	7,5	395	402,5	TO-3579	macrorestes	7090	70	-25,0	7911	7757	8028	95,0	
J'Arrive (lac) (JARX)		494,5	3	493	496	TO-1967	macrorestes	9550	70	-25,0	10908	10677	11151	95,0	
		513,5	5	511	516	TO-1429	macrorestes	10040	100	-25,0	11576	11253	11846	87,5	
		540,5	1	540	541	TO-1428	mousses	15000	110	-25,0	18229				
		576,0	20	566	586	TO-1427	coquilles marines	12810	90	-25,0	15278	15014	15628	95,0	
		47,5	5	45	50	TO-3580	macrorestes	1310	50	-25,0	1242	1172	1310	90,3	
Euloge (lac) (EULX)		80,0	5	77,5	82,5	Beta-50185	gyttja	2540	90	-32,0	2594				
		130,0	6	127	133	TO-3581	macrorestes	5810	60	-25,0	6610	6470	6745	95,0	
		169,75	5,5	167	172,5	Beta-50186	gyttja	8110	60	-28,0	9058				
		224,5	2,5	223,25	225,75	TO-3582	macrorestes	8870	70	-25,0	9982	9732	10189	93,8	
		290,0	2	289	291	TO-3717	macrorestes	9730	70	-25,0	11148	11066	11260	72,9	
Côte nord de la Gaspésie (SUNG)	Perlu (lac) (PERDU)	293,0	6	290	296	TO-3583	macrorestes	8830	70	-25,0	9903				
		130,0	4	128	132	TO-2615		1450	90	-25,0	1364	1237	1540	93,0	
		130,0	4	128	132	GSC-5288	gyttja	2030	120	-29,4	2003	1734	2213	85,7	
		402,5	5	400	405	GSC-5487		5030	120	-30,9	5780	5581	6012	92,9	
		450,0	4	448	452	TO-2616		5530	110	-25,0	6329	6170	6562	87,1	
		450,0	4	448	452	GSC-5291	13300		150		15986				
		502,5	5	500	505	GSC-5490	gyttja	6420	120	-30,1	7336	7156	7567	92,0	
		598,0	4	596	600	TO-2617		8740	80	-25,0	9749	9542	9949	87,1	
		598,0	4	596	600	GSC-5292	gyttja	9100	140	-28,3	10271	9886	10605	92,6	
		666,0	4	664	668	GSC-1908		13800	160	-26,4	16695				
Bouchard (petit lac) (BOUCHX)		695,0	10	690	700	DIC-2201		11500	220		13342	12910	13778	95,0	
		3,75	7,5	0	7,5	BETA-100315	gyttja	100	70	-27,9	130	3	153	57,7	
		23,5	4	21,5	25,5	BETA-1000316	gyttja	350	70	-28,2	399	289	515	95,0	
		7,5	5	5	10	BETA-100312	gyttja	880	70	-28,6	804				
		52,5	5	50	55	BETA-100313	gyttja	1940	70	-29,3	1888				
57,5	5	55	60	TO-6280	macrorestes	1420	80	-25,0	1336	1228	1424	79,9			

## Annexe 4. (suite et fin)

Secteur	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)		Laboratoire	Matériel	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges étalonnés AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites (supplément 1)					
		Moyenne	Épaisseur			Minimum	Maximum	Date <sup>14</sup> C AA-1950		Callib 7.0 (IntCal13)	CLAM 2.2 (IntCal13)				
								Mesurée	Corrigée			Écart	Delta <sup>13</sup> C	Médiane	Étendue (95 %)
Côte nord de la Gaspésie (SJNG) <i>suite</i>	Bouchard (petit lac) <b>(BOUCHX)</b> <i>suite</i>	107,5	5	105	110	BETA-100314	gyttja	3100	70	-29,6	3300	2975	3271	85,7	
		112,5	5	110	115	TO-6281	macrorestes	2980	60	-25,0	3151	4228	4648	88,0	
		157,5	5	155	160	TO-6282	macrorestes	3980	80	-25,0	4448	5447	5739	87,0	
		202,5	5	200	205	TO-6283	macrorestes	4840	80	-25,0	5572	6185	6490	95,0	
		252,5	5	250	255	TO-6284	macrorestes	5530	80	-25,0	6333	8847	9134	94,8	
		290,0	2	289	291	TO-7912	macrorestes	7990	110	-25,0	8847	10317	9909	10675	95,0
		326,0	6	323	329	TO-7913	macrorestes	9130	140	-25,0	10317	3347	3136	3576	92,1
		289,5	3	288	291	GSC-5276	gyttja	3140	100	-29,0	3347	7236	7569	91,1	
		760,0	2	759	761	GSC-5279	gyttja	6470	110	-29,7	7378	6676	6965	95,0	
		760,0	2	759	761	TO-2694	macrorestes	5990	60	-25,0	6831	13910	13367	14784	95,0
Côte sud de la Gaspésie (SJSJ)	Raymond (lac à) <b>(RAYMVP)</b>	1029,0	6	1026	1032	GSC-4922	gyttja	12000	240	-29,4	13910	11222	12437	92,9	
		1031,0	2	1030	1032	TO-1613	macrorestes	10150	220	-25,0	11805	2673	2888	93,9	
		65,0	8	61	69	BETA-7879	sédiment en vrac	2600	110		2673	4230	4826	93,7	
		97,0	6	94	100	UQ-679	sédiment en vrac	5150	350		5904	9005	9475	95,0	
		121,5	7	118	125	BETA-7880	sédiment en vrac	4010	110		4496	3359	3695	90,9	
		204,0	6	201	207	UQ-681	sédiment en vrac	6100	170		6975	5913	6216	91,7	
		268,5	7	265	272	BETA-7881	sédiment en vrac	8250	110		9229	8154	8541	91,7	
		305,0	6	302	308	UQ-684	sédiment en vrac	8850	260		9933	11071	11407	88,7	
		320,5	7	317	324	UQ-685	sédiment en vrac	10000	400		11587				
		70,0	10	65	75	GSC-3104	sédiment en vrac	3280	80	-26,7	3514				
Robln (lac) <b>(ROBIN)</b>		120,0	10	115	125	GSC-4022	sédiment en vrac	5280	80	-26,2	6071	5913	6216	90,9	
		175,0	10	170	180	GSC-3425	sédiment en vrac	7510	110	-24,4	8313	8154	8541	91,7	
		216,5	11	211	222	GSC-2992	sédiment en vrac	9800	80		11220	11071	11407	88,7	

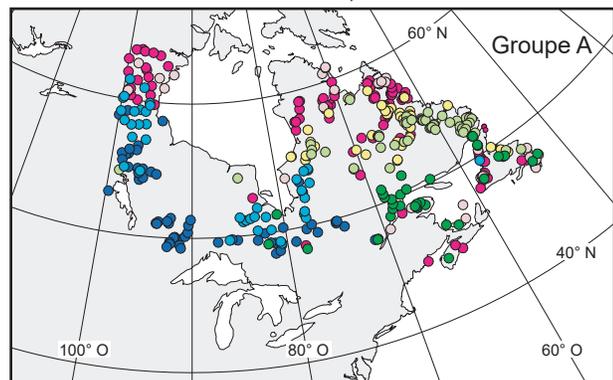
**Annexe 5.** Taux d'accumulation sédimentaire (TAS) et résolution en années des échantillons des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional. Taux d'accumulation sédimentaire (TAS) et résolution en années des échantillons : a) TAS des 23 sites retenus pour les 8 palynostratigraphies sectorielles du territoire d'étude; b) résolution en années (AA) des échantillons des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional; c) emplacement des 35 sites sur une carte. Sur la figure (a), plus la pente de la courbe est prononcée, plus le TAS ( $\text{cm}\cdot\text{an}^{-1}$ ) est grand. En (b), chaque point représente un échantillon; la résolution est livrée par le nombre de points obtenus par millénaire. Seuls les échantillons au-dessus de la date basale sont représentés. Le nombre d'échantillons disponibles sous la date basale est indiqué à la base des séries. Les lignes horizontales en trait pointillé délimitent les bornes à l'échelle des millénaires : 500–0 ans AA, 1500–500 ans AA, etc. L'emplacement des 35 sites avec leur nom est donné à la figure 1a. En (c), les 23 sites de (a) sont illustrés par des couleurs différentes, une par secteur. Les points en noir réfèrent aux sites exclus pour les 8 palynostratigraphies sectorielles, mais ils sont pris en considération pour le résumé de la végétation et du climat à l'échelle des millénaires. Les 2 sites de la PLCN (DAU et DEL1) n'ont pas été retenus pour résumer leur palynostratigraphie.



**Annexe 6.** Information sur la végétation des 15 groupes K-means reconnus par Fréchette *et al.* (2018) à la suite de l'analyse des assemblages polliniques de surface pour les 1010 sites de l'est du Canada : a) Cartes de la répartition des sites en fonction des 15 groupes; b) diagramme de l'assemblage pollinique moyen des groupes. L'abondance du pollen herbacé dans l'assemblage pollinique moyen des groupes Bb2 et Bc1, respectivement situés le long de la vallée du Saint-Laurent et dans la région des Grands Lacs, traduit un effet anthropique, sans doute lié à l'agriculture et aux grands axes routiers. Figure tirée de Fréchette *et al.* (2018).

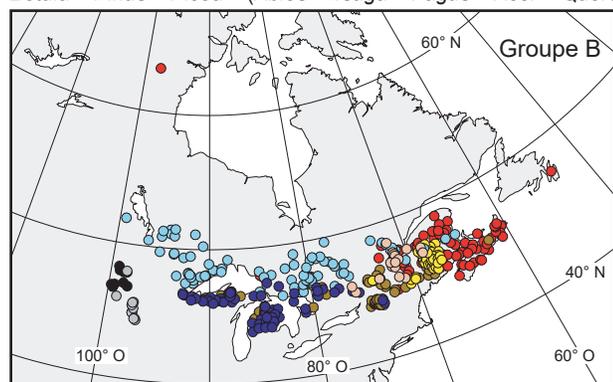
a) Cartes de la répartition des sites en fonction des 15 groupes d'assemblages polliniques

*Picea – Betula – herbes – Alnus crispa – Pinus*



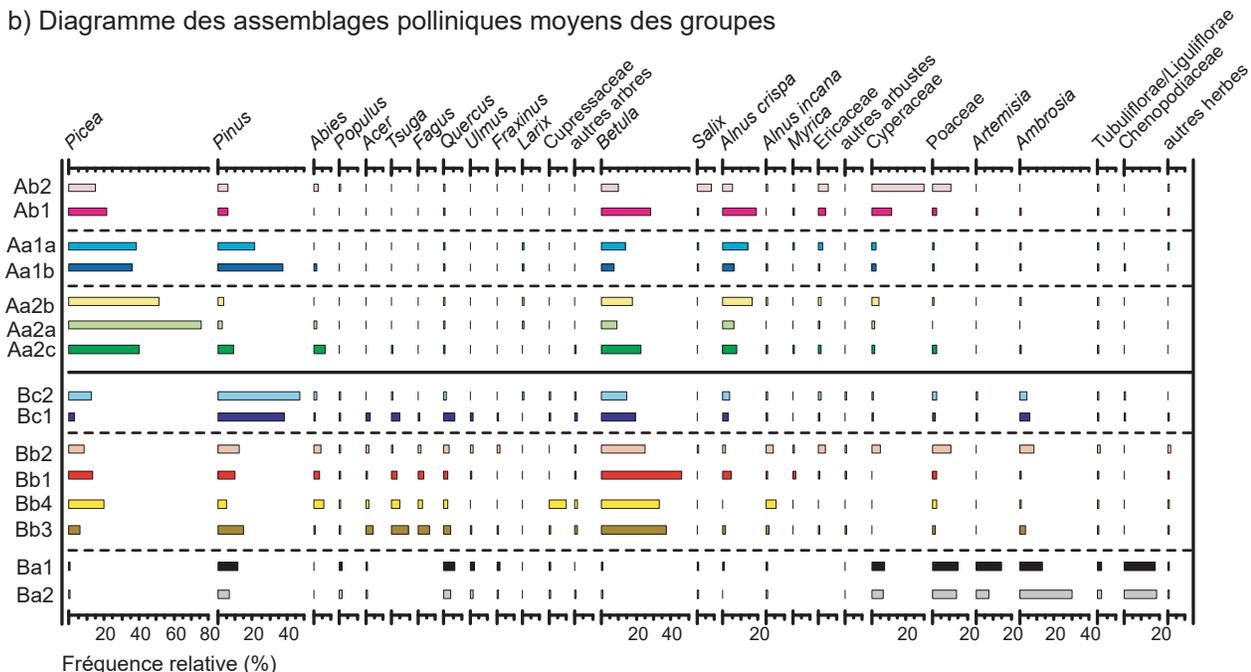
- Ab : Toundra forestière**  
 Ab2 TF-arbustive : herbes – *Picea* – *Betula* – (*Salix*)  
 Ab1 TF-forestière : *Betula* – *Picea* – *Alnus crispa* – herbes
- Aa1 : Forêt boréale Ouest**  
 Aa1a PL/PM : *Picea* – *Pinus* – *Alnus crispa* – *Betula*  
 Aa1b PM/SBb : *Pinus* – *Picea* – (*Betula* – *Alnus crispa* – *Abies*)
- Aa2 : Forêt boréale Est**  
 Aa2b PL : *Picea* – *Betula* – *Alnus crispa*  
 Aa2a PM : *Picea* – (*Betula* – *Alnus crispa*)  
 Aa2c PM/SBb : *Picea* – *Betula* – *Pinus* – (*Abies*)

*Betula – Pinus – Picea – (Abies – Tsuga – Fagus – Acer – Quercus) – herbes*



- Bc : Forêt mixte Ouest**  
 Bc2 SBb/SBj : *Pinus* – *Betula* – *Picea* – herbes – (*Alnus crispa*)  
 Bc1 SBj/EBj : *Pinus* – *Betula* – herbes – (*Quercus* – *Tsuga* – *Acer*)
- Bb : Forêt mixte Est**  
 Bb2 SBb/SBj : herbes – *Betula* – *Pinus* – *Picea* – (*Abies*)  
 Bb1 SBj : *Betula* – *Picea* – *Pinus* – (*Alnus crispa*)  
 Bb4 EBJ : *Betula* – *Picea* – *Cupressaceae* – (*Abies* – *Tsuga*)  
 Bb3 ET : *Betula* – *Pinus* – (*Tsuga* – *Fagus* – *Acer*)
- Ba : Prairies**  
 Ba1 Prairies : herbes – *Pinus* – (*Quercus*)  
 Ba2 Prairies : herbes – *Pinus*

b) Diagramme des assemblages polliniques moyens des groupes



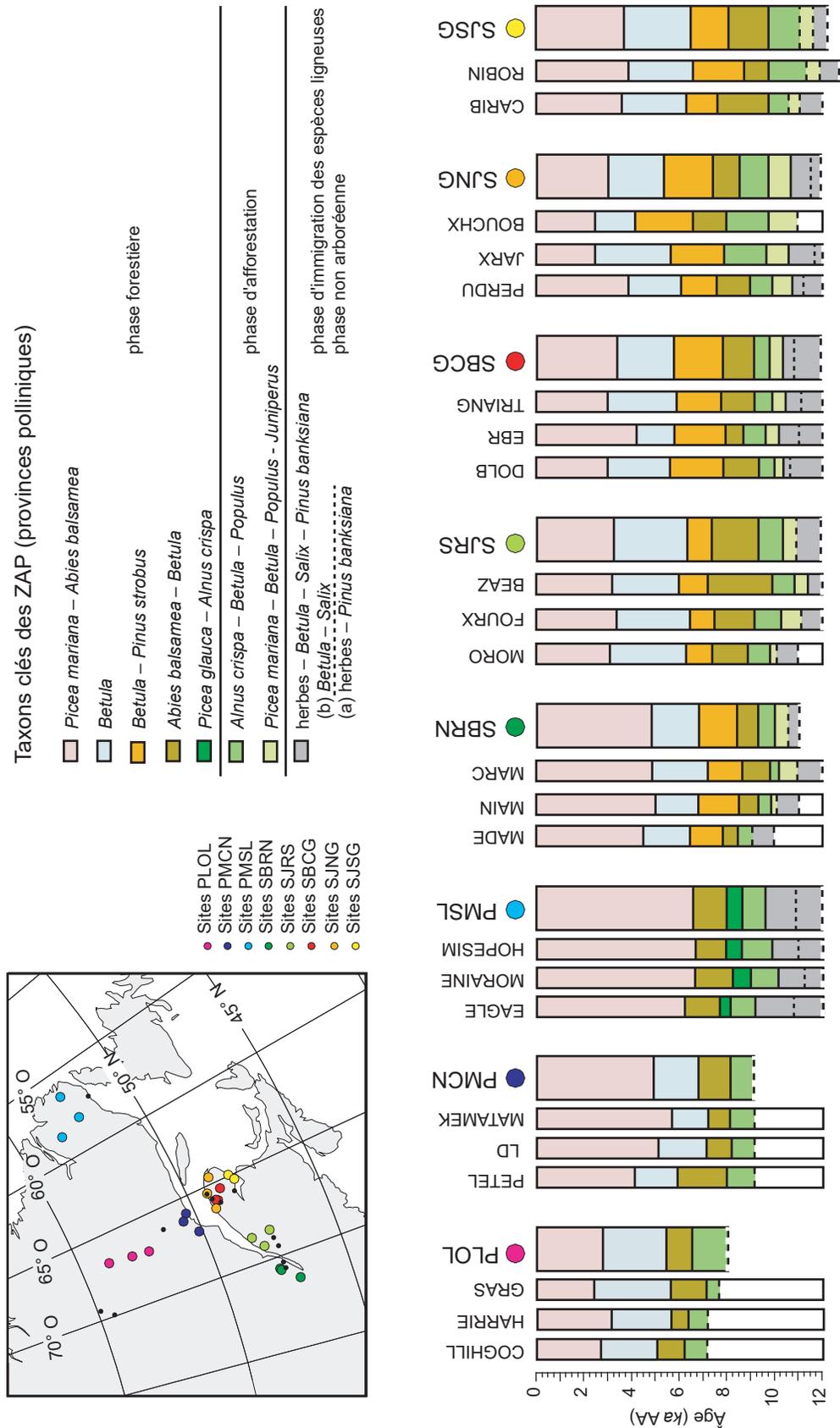
**Annexe 7.** Caractérisation de l'assemblage pollinique type des végétations postglaciaires et millénaires de l'est du Québec et du Labrador méridional, reconstituées à l'échelle des domaines bioclimatiques. Voir les figures 10 et 14 pour les reconstitutions de la végétation. Cette description se rapporte essentiellement aux assemblages polliniques de sédiments lacustres. L'assemblage type pour les végétations de l'est du Québec diffère légèrement de celui observé pour les végétations de l'ouest du Québec livré dans Fréchette et al. (2018).

Végétation	Assemblage pollinique type	Picea (%)
Toundra herbacée/Toundra arbustive (TH/TA) Le pollen des plantes herbacées et de <i>Betula</i> domine les assemblages de la TH/TA (25–35 %). Le pollen de <i>Salix</i> est présent en abondance (5–10 %) alors que celui de <i>Picea (mariana)</i> et d' <i>Alnus crispa</i> est peu abondant (< 10 %). Les grains de pollen de <i>Pinus (banksiana)</i> présents dans les assemblages sont de sources lointaines. • (1) herbes > <i>Betula</i> et (2) <i>Alnus crispa</i> est peu abondant.	herbes — <i>Betula</i> — <i>Salix</i>	< 10–15 %
Toundra arbustive/Toundra forestière (TA/TF) Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la TA/TF (30–40 %). Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et des plantes herbacées est abondant (15–25 %). Le pollen de <i>Salix</i> est présent. L'abondance du pollen de <i>Picea (P. mariana)</i> se compare à celle de la TH/TA. • (1) <i>Betula</i> > herbes et (2) <i>Alnus crispa</i> est abondant.	<i>Betula</i> — <i>Alnus crispa</i> — herbes	< 10–15 %
Tremblaie-parc (TP) La végétation de TP reconstituée dans l'est du Québec, à env. 10 000 ans AA (SB-RN-2 et SJ-RS-2), est sans analogue contemporain (SCD d'env. 0,35 entre les analogues modernes et les assemblages postglaciaires). Les plus proches analogues proviennent des environs du lac Michigan (Prairies et forêt décidue). Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages (30–40 %) de la TP. Le pollen de <i>Populus</i> (10–15 %) et de <i>Juniperus</i> (5 %) est abondant. Celui de <i>Picea (P. mariana)</i> et d' <i>Alnus crispa</i> l'est peu, et le pollen des plantes herbacées est présent (5–10 %). • (1) <i>Populus</i> et herbes sont abondants.	<i>Betula</i> — <i>Populus</i> — herbes — <i>Juniperus</i>	< 10–15 %
Toundra forestière/Pessière à lichens (TF/PL) Dans l'ensemble, le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> domine les assemblages de la TF/PL (20–40 %). Le pourcentage du pollen de <i>Picea (P. mariana)</i> est > 15 % et parfois aussi abondant que celui d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> . Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> , de <i>Populus</i> et des plantes herbacées est présent (< 5 %). • (1) <i>Alnus crispa</i> ± <i>Betula</i> ± <i>Picea (P. mariana)</i> et (2) herbes sont peu abondantes.	<i>Alnus crispa/Betula</i> — <i>Picea (Populus)</i>	± 20–30 %
Pessière à lichens (PL) Le pollen de <i>Picea (P. mariana)</i> domine les assemblages (> 40 %). Quant au pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> , il est abondant (15–25 %). L'abondance du pollen d' <i>Abies balsamea</i> et des plantes herbacées se compare à la TF/PL (< 5 %), mais contrairement à la TF/PL le pollen de <i>Populus</i> est présent uniquement en traces. • (1) <i>Picea (P. mariana)</i> est dominant et (2) <i>Alnus crispa</i> ≈ <i>Betula</i> .	<i>Picea</i> — <i>Alnus crispa/Betula</i>	± 40–50 %
Pessière à mousses (PM) La signature pollinique de la PM de l'est du Québec est double; une pour le sud du Labrador et une pour la Côte-Nord. Aux deux endroits, le pollen de <i>Picea (P. mariana)</i> domine les assemblages (> 55–60 %) alors que celui d' <i>Alnus crispa</i> est peu abondant (< 10 %). La PM du sud de Labrador se distingue par son abondance de pollen de <i>Betula</i> . Au sud du Labrador, <i>Betula</i> est peu abondant (< 10 %) alors que sur la Côte-Nord son pourcentage est > 20–25 %. • (1) <i>Picea (mariana)</i> est dominant et (2) <i>Alnus crispa</i> est peu abondant.	<i>Picea</i> — <i>Betula (Alnus crispa)</i>	> 60 %
Pessière à mousses/Sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) Le pollen de <i>Picea (mariana)</i> et de <i>Betula</i> domine les assemblages de la PM/SBb (30–35 %). Le pourcentage du pollen d' <i>Abies balsamea</i> est généralement < 5 %. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Pinus</i> est peu abondant (< 10 %). • (1) <i>Picea (P. mariana)</i> ± <i>Betula</i> et (2) <i>Abies balsamea</i> est peu abondant.	<i>Picea</i> — <i>Betula (Abies)</i>	± 30–40 %
Sapinière à épinette noire (SEn) Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> est abondant dans les assemblages de la SEn (15–20 %), mais ce sont <i>Picea (P. mariana)</i> et <i>Betula</i> qui les dominent (25–30 %). Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Pinus</i> est peu abondant (< 10 %). • (1) <i>Picea (P. mariana)</i> ± <i>Betula</i> et (2) <i>Abies balsamea</i> est abondant.	<i>Picea</i> — <i>Betula</i> — <i>Abies</i>	> 20 %
Sapinière à épinette noire/S. à bouleau blanc (SEn/SBb) Très comparable à la SEn. Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la SE/SBb (45–55 %). Le pourcentage de <i>Picea (P. mariana)</i> (20–25 %) se compare à la SEn, mais le pollen d' <i>Abies balsamea</i> est moins abondant (± 10 %). Comme pour la SEn, le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Pinus</i> est peu abondant (< 10 %). • (1) <i>Betula</i> > <i>Picea (P. mariana)</i> et (2) <i>Abies balsamea</i> abonde moyennement.	<i>Betula</i> — <i>Picea</i> — <i>Abies</i>	± 20 %
Sapinière à bouleau blanc (SBb) Très comparable à la SBb/SBj. Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la SBb de l'est du Québec (40–50 %). Le pourcentage de <i>Picea (P. mariana)</i> est de ± 15–20 % et légèrement plus élevé que celui de <i>Pinus (P. strobus)</i> (10–15 %). Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> est abondant (> 5 %). • (1) <i>Betula</i> est dominant; (2) <i>Picea (P. mariana)</i> ± <i>Pinus (P. strobus)</i> ; et (3) <i>Abies balsamea</i> abonde.	<i>Betula</i> — <i>Picea</i> — <i>Pinus</i> — <i>Abies</i>	± 15–20 %
Sapinière à bouleau blanc/S. à bouleau jaune (SBb/SBj) Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la SBb/SBj (> 50 %). Comme pour la SBb, le pollen d' <i>Abies balsamea</i> est abondant (> 5 %). Quant au pollen de <i>Picea (P. mariana)</i> , il est généralement < 15 % et donc légèrement moins abondant que pour la SBb. L'abondance de pollen d'essences thermophiles, comme <i>Fagus grandifolia</i> , est de façon générale plus élevée dans les assemblages de la SBb/SBj que dans ceux de la SBb. • (1) <i>Betula</i> est dominant; (2) <i>Abies balsamea</i> est abondant; et (3) <i>Picea (P. mariana)</i> abonde peu.	<i>Betula</i> — <i>Pinus/Picea</i> — <i>Abies (Fagus)</i>	± 10 %
Sapinière à bouleau jaune (SBj) Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la SBj (> 50 %). Quant au pollen de <i>Pinus (P. strobus)</i> , il est abondant (15–20 %). Le pollen d' <i>Abies balsamea</i> l'est peu également (< 5 %) tout comme celui de <i>Picea (P. mariana)</i> (< 10 %). Quant au pollen de <i>Populus</i> , il est absent ou présent en traces. Le pollen de <i>Tsuga canadensis</i> , d' <i>Acer</i> et de <i>Quercus</i> est présent dans les assemblages. • (1) <i>Betula</i> est dominant et (2) <i>Pinus (P. strobus)</i> > <i>Picea (P. mariana)</i> .	<i>Betula</i> — <i>Pinus (Tsuga — Acer — Quercus)</i>	< 10 %
Sapinière à bouleau jaune/Érablière à bouleau jaune (SBj/EBj) Le pollen de <i>Betula</i> domine les assemblages de la SBj/EBj (40–50 %). Quant au pollen de <i>Pinus (P. strobus)</i> , il est très abondant (25–35 %). L'abondance du pollen d' <i>Abies balsamea</i> se compare à celle de la SBj (< 5 %), mais celui de <i>Picea (P. mariana)</i> est plus rare (< 5 %). Le pollen des essences thermophiles est présent. • (1) <i>Betula</i> est dominant; (2) <i>Pinus (P. strobus)</i> est abondant; et (3) <i>Picea (P. mariana)</i> est rare.	<i>Betula</i> — <i>Pinus (Tsuga — Acer — Quercus)</i>	< 5 %

**Annexe 8.** Résultats obtenus à la suite de l'analyse en composantes principales (ACP) appliquée aux 2 418 assemblages polliniques modernes de l'est de l'Amérique du Nord. Les taxons identifiés à la figure 5f sont soulignés.

	Axe de l'ACP		
	1	2	3
Valeur propre ( $\lambda$ )	12,861 5	7,114 3	4,589 6
Pourcentage de variance	28,93	16,00	10,32
Somme des $\lambda$ s (variance totale)		44,464 0	
Moyenne des $\lambda$ s		0,794 0	
	Vecteur propre (saturation des taxons)		
	Axe 1	Axe 2	Axe 3
<u>Abies</u>	-0,0961	-0,135 1	-0,022 1
<u>Picea</u>	-0,5717	-0,094 8	0,154 4
<u>Pinus</u>	0,094 5	-0,371 2	0,699 9
<u>Larix</u>	-0,0285	-0,024 2	0,013 9
<u>Cupressaceae</u>	0,038 4	-0,083 7	-0,055 8
<u>Tsuga</u>	0,019 7	-0,292 0	-0,194 6
<u>Acer</u>	0,081 2	-0,185 9	-0,132 2
<u>Quercus</u>	0,438 7	-0,199 5	-0,096 2
<u>Ulmus</u>	0,143 4	-0,104 7	-0,076 1
<u>Fagus</u>	0,019 9	-0,197 5	-0,194 4
<u>Carya</u>	0,119 6	-0,028 7	-0,025 2
<u>Tilia</u>	0,024 0	-0,018 9	-0,025 1
<u>Fraxinus nigra</u>	0,023 6	-0,028 0	-0,018 1
<u>Fraxinus pennsylvanica</u>	0,034 7	-0,032 1	-0,046 9
<u>Fraxinus</u>	0,064 0	-0,040 1	-0,024 7
<u>Juglans</u>	0,056 3	-0,017 8	-0,038 7
<u>Carpinus/Ostrya</u>	0,066 2	-0,099 4	-0,068 3
<u>Populus</u>	0,029 9	-0,055 3	-0,030 6
<u>Castanea dentata</u>	0,013 0	-0,021 6	-0,031 2
<u>Celtis</u>	0,014 9	0,003 1	-0,004 2
<u>Liquidambar</u>	0,036 1	0,005 0	0,033 4
<u>Nyssa</u>	0,020 9	-0,002 6	0,017 2
<u>Platanus</u>	0,031 7	-0,016 2	-0,026 8
<u>Taxodium</u>	0,012 8	0,007 3	0,044 7
<u>Betula</u>	-0,340 7	-0,422 0	-0,447 1
<u>Salix</u>	-0,005 9	0,235 0	-0,114 2
<u>Alnus crispa</u>	-0,253 3	0,039 3	0,047 7
<u>Alnus incana</u>	-0,009 9	-0,071 7	-0,068 2
<u>Corylus</u>	0,011 0	-0,041 3	-0,016 7
<u>Myrica</u>	0,002 3	-0,009 2	0,046 3
<u>Ericaceae</u>	-0,115 4	0,194 8	-0,095 0
<u>Aquifoliaceae</u>	0,012 0	-0,012 9	-0,001 8
<u>Caprifoliaceae</u>	0,009 2	0,002 3	0,001 8
<u>Rhamnaceae/Vitaceae</u>	0,023 8	0,000 3	-0,007 8
<u>Taxus</u>	-0,000 3	-0,001 1	-0,001 5
<u>Elaeagnaceae</u>	0,000 2	0,000 9	0,000 3
<u>Cyperaceae</u>	-0,124 0	0,462 7	-0,050 4
<u>Artemisia</u>	-0,003 9	0,051 5	0,035 7
<u>Ambrosia</u>	0,335 4	-0,049 5	-0,120 8
<u>Tubuliflorae/Liguliflorae</u>	0,102 6	0,060 5	0,028 5
<u>Chenopodiaceae</u>	0,159 0	0,151 1	0,202 8
<u>Poaceae</u>	0,198 5	0,252 3	-0,215 2
<u>Rosaceae</u>	0,001 2	0,034 0	-0,056 2
<u>Dryas</u>	-0,004 3	0,021 3	-0,006 8
<u>Oxyria/Rumex</u>	0,011 3	0,032 9	-0,114 8
<u>Saxifragaceae</u>	-0,009 8	0,051 3	-0,017 0
<u>Caryophyllaceae</u>	-0,008 4	0,043 2	-0,018 1
<u>Brassicaceae</u>	0,001 6	0,028 1	-0,006 9
<u>Apiaceae</u>	0,012 0	0,013 6	0,007 7
<u>Fabaceae</u>	0,006 0	0,022 0	-0,005 1
<u>Papaveraceae</u>	-0,002 7	0,014 0	-0,003 7
<u>Ranunculaceae</u>	-0,004 0	0,028 9	-0,017 4
<u>Thalictrum</u>	-0,000 3	0,006 1	-0,013 0
<u>Onagraceae</u>	-0,001 7	0,007 6	-0,001 2
<u>Plantaginaceae</u>	0,037 3	-0,008 7	-0,041 6
<u>Rubiaceae</u>	0,014 2	0,012 6	0,017 5

**Annexe 9.** Détail de la construction des 8 palynostratigraphies synthèses du territoire d'étude en fonction de l'âge. Voir le tableau 3 pour la description des ZAP. Les ZAP des 23 sites sont mises en valeur à gauche de celles des 8 secteurs. Les diagrammes polliniques sommaires des 23 sites sont présentés à la figure 8. La synthèse palynostratigraphique des 8 secteurs est reportée et comparée à la figure 9. Les 8 provinces polliniques postglaciaires de l'est du Québec et du Labrador méridional sont illustrées par des couleurs différentes et sont décrites au tableau 4.



**Annexe 10.** Taux d'accumulation pollinique (TAP, en grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) et pourcentage de *Populus*, de *Picea*, d'*Alnus crispa*, d'*Abies*, de *Pinus*, de *Betula* et des herbes ainsi que TAP total du sédiment à l'échelle des ZAP, pour les sites des sapinières occidentales et des sapinières orientales. Les couleurs dans la colonne ZAP sont celles utilisées pour désigner les provinces polliniques; leur légende est livrée à l'annexe 9.

a) Sapinières occidentales (secteurs de la SBRN et de la SJRS)

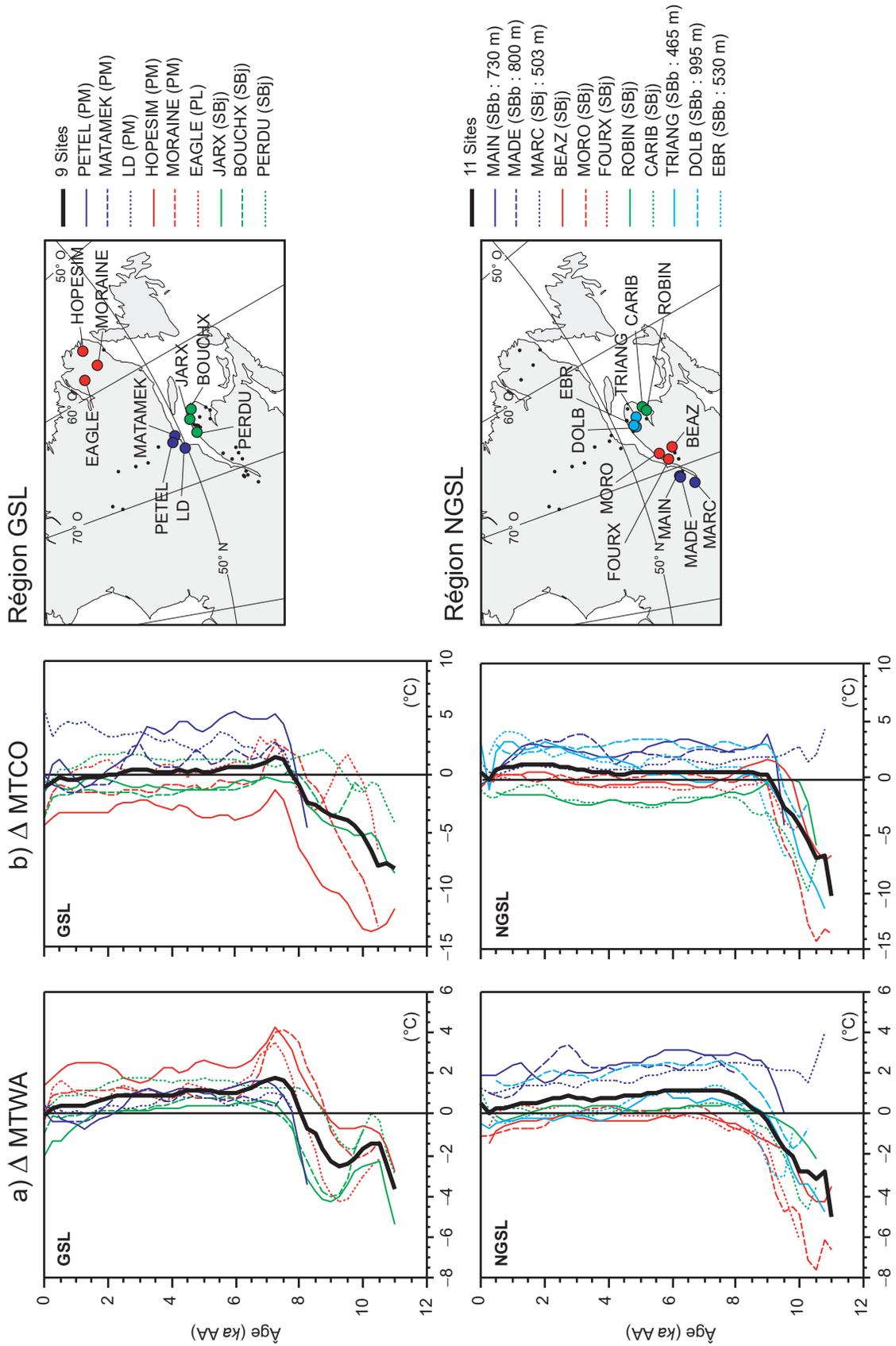
ZAP	Site	<i>Populus</i>		<i>Picea</i>		<i>Alnus crispa</i>		<i>Abies</i>		<i>Pinus</i>		<i>Betula</i>		Herbes		TAP total
		TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	
<b>Sapinière à bouleau blanc — rive nord du fleuve Saint-Laurent : Charlevoix/Laurentides (secteur de la SBRN)</b>																
7	MADE	5	0,1	772	26,2	31	1,1	200	6,5	395	12,9	1242	42,1	45	1,6	2961
	MAIN	64	1,0	953	20,0	46	1,0	568	9,4	885	15,4	2584	45,5	32	0,6	5512
	MARC	3	0,1	282	4,3	33	0,5	236	3,7	714	10,2	4275	61,6	302	4,6	6886
6	MADE	0	0,0	546	16,3	49	1,4	136	4,4	499	15,0	1740	52,3	45	1,6	3315
	MAIN	38	0,3	1132	12,0	95	1,1	502	5,5	1665	18,1	5050	55,1	119	1,3	9184
	MARC	6	0,1	155	2,0	28	0,3	142	1,7	1209	14,8	5013	59,9	222	2,6	8308
5	MADE	17	0,5	358	10,1	104	3,0	179	5,0	510	14,4	2007	55,9	56	1,6	3575
	MAIN	116	1,5	638	8,4	297	4,2	493	6,2	1204	15,9	4181	56,2	55	0,8	7484
	MARC	48	0,5	309	3,7	183	2,0	188	2,3	2719	32,8	3703	43,5	254	3,0	8406
4	MADE	7	0,2	738	21,1	125	3,6	808	23,1	689	19,7	1030	29,5	21	0,6	3495
	MAIN	76	1,2	342	5,0	1366	19,5	559	8,1	732	10,8	3108	45,3	277	3,8	6869
	MARC	115	1,6	305	4,0	381	5,2	320	4,2	1172	14,4	4529	57,1	182	2,3	7881
3	MADE	4	0,2	109	6,8	181	11,3	91	5,7	272	17,0	788	49,3	26	1,7	1599
	MAIN	153	2,5	851	13,0	2575	39,0	129	2,0	724	11,3	1432	22,6	159	2,2	6514
	MARC	278	4,0	665	10,4	1751	27,6	68	0,9	515	7,7	2479	35,9	191	2,9	6639
2	MADE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	MAIN	—	4,1	—	9,9	—	13,8	—	0,7	—	19,6	—	25,9	—	5,8	—
	MARC	600	18,8	264	7,6	79	2,5	4	0,1	351	10,9	887	27,3	247	8,1	3215
1	MADE	—	0,9	—	9,1	—	3,4	—	0,6	—	21,9	—	27,3	—	20,4	—
	MAIN	—	0,0	—	4,1	—	1,8	—	0,3	—	18,6	—	6,1	—	54,8	—
	MARC	—	1,1	—	6,4	—	1,8	—	0,3	—	10,0	—	12,8	—	40,3	—
<b>Sapinière à bouleau jaune — rive sud du fleuve Saint-Laurent : Bas-Saint-Laurent/Témiscouata (secteur de la SJRS)</b>																
7	FOURX	16	0,2	703	9,3	101	1,3	273	3,5	1537	16,6	3579	42,4	250	3,4	8424
	MORO	6	0,1	362	9,8	75	1,8	69	1,8	439	9,0	2888	66,6	113	2,8	4286
	BEAZ	10	0,1	942	12,6	59	0,8	661	8,7	1239	15,6	3506	46,3	205	2,7	7605
6	FOURX	41	0,2	717	3,7	158	0,8	287	1,7	5226	27,3	9664	50,3	494	2,5	19293
	MORO	4	0,0	154	1,6	55	0,6	150	1,6	2075	22,4	5934	63,1	108	1,1	9361
	BEAZ	5	0,0	800	3,8	93	0,5	714	3,2	8211	36,3	10090	43,6	257	1,2	22748
5	FOURX	140	0,8	522	3,2	139	0,8	285	1,9	5921	38,0	6448	39,5	363	2,4	15899
	MORO	0	0,0	178	2,1	122	1,3	137	1,6	2270	26,5	4995	57,2	105	1,2	8692
	BEAZ	49	0,2	1376	6,4	100	0,5	842	3,9	10699	49,4	5566	25,5	141	0,6	21688
4	FOURX	277	2,2	1007	8,0	847	5,9	476	3,4	1214	9,6	7735	58,7	277	2,2	13107
	MORO	84	0,7	493	4,5	934	7,9	333	2,9	537	4,9	7551	69,6	184	1,7	10954
	BEAZ	173	1,7	1511	15,1	690	6,9	735	7,5	1850	17,2	4139	40,2	151	1,4	10345
3	FOURX	472	5,8	978	12,8	3666	46,5	47	0,5	406	5,4	1397	18,2	199	2,8	7718
	MORO	256	3,1	994	17,6	3496	43,4	68	0,8	264	4,3	1824	23,4	131	2,1	7389
	BEAZ	102	2,0	2414	52,8	1016	17,4	48	1,1	391	8,1	581	11,3	199	4,2	4915
2	FOURX	—	18,3	—	17,5	—	5,3	—	0,2	—	7,1	—	26,4	—	9,2	—
	MORO	45	3,8	51	4,6	55	5,1	1	0,1	121	11,2	648	56,0	111	9,7	1136
	BEAZ	363	24,8	113	7,7	42	2,9	4	0,2	106	7,2	540	36,9	191	13,0	1464
1	FOURX	—	0,4	—	5,8	—	3,5	—	0,1	—	15,1	—	15,2	—	47,5	—
	MORO	0	0,5	14	12,2	8	3,7	1	0,7	39	24,1	12	8,5	64	42,0	151
	BEAZ	12	1,7	36	8,2	33	6,3	2	0,4	68	13,7	121	16,3	232	42,7	588

## Annexe 10. (suite et fin)

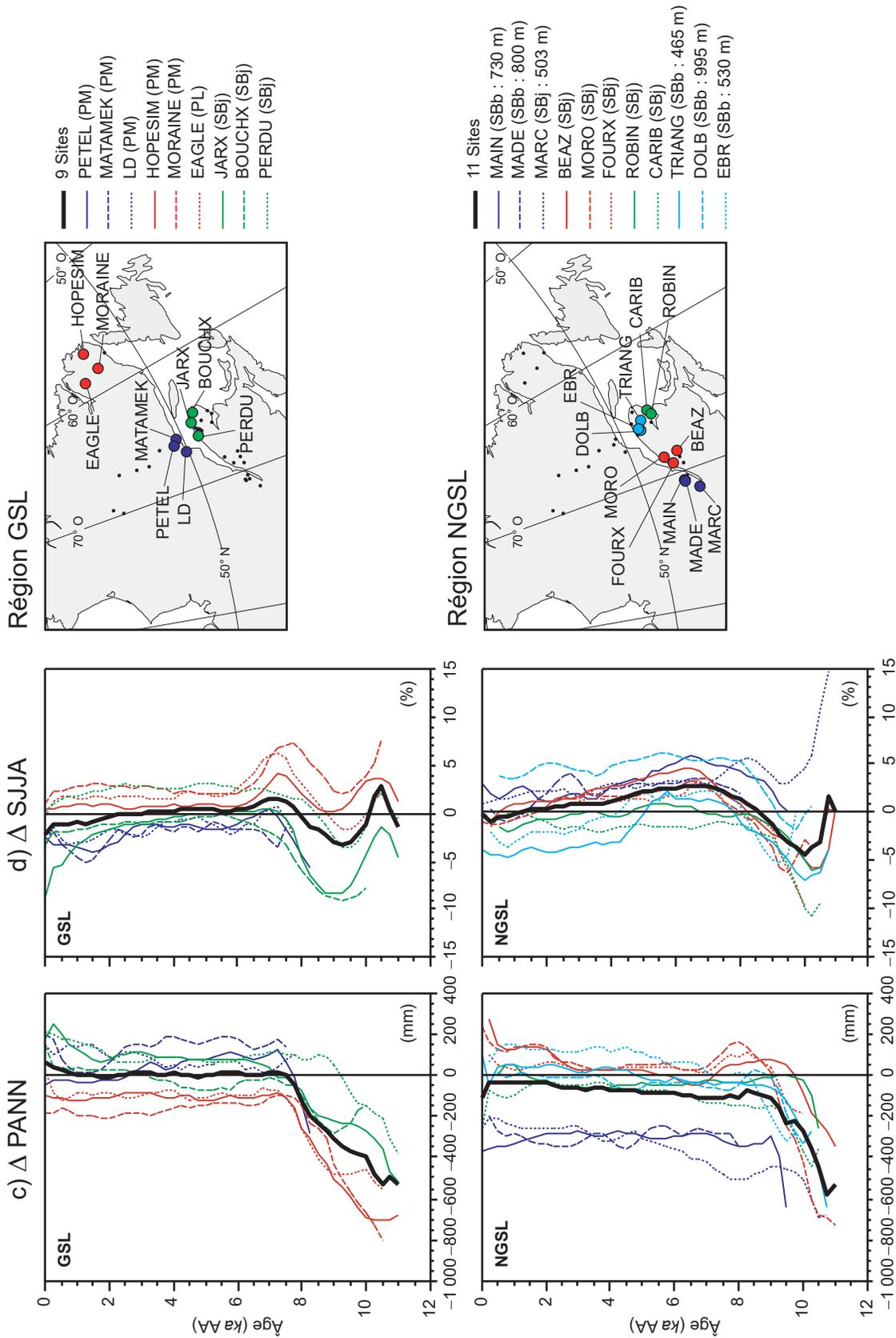
## b) Sapinières orientales (secteurs de la SBCG, de la SJNG et de la SJSG)

ZAP	Site	Populus		Picea		Alnus crispa		Abies		Pinus		Betula		Herbes		TAP total
		TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	TAP	%	
<b>Sapinière à bouleau blanc — centre de la Gaspésie : plateau de la Gaspésie (secteur de la SBCG)</b>																
7	DOLB	35	0,3	2106	13,3	791	5,1	1179	7,4	1250	7,9	9306	57,7	497	3,1	16005
	EBR	6	0,1	2662	19,6	292	1,9	1714	11,4	773	4,9	7589	53,8	218	1,6	14206
	TRIANG	1	0,0	3248	40,3	71	1,0	707	8,8	579	6,8	3019	38,1	44	0,6	8007
6	DOLB	39	0,4	1469	11,6	742	6,3	725	5,9	1428	11,9	6967	56,5	333	2,7	12292
	EBR	7	0,1	2191	13,2	406	2,2	1596	10,1	1462	8,7	9930	58,3	308	2,0	16801
	TRIANG	4	0,1	2240	27,8	50	0,7	652	8,1	1230	15,4	3406	42,6	104	1,3	7985
5	DOLB	43	0,3	1248	8,8	974	6,9	637	4,6	2122	14,9	8120	56,6	382	2,7	14268
	EBR	53	0,5	1561	11,3	477	4,0	1392	10,6	1037	8,5	8756	58,7	240	1,7	14259
	TRIANG	38	0,4	1776	22,0	141	1,9	352	4,2	1244	15,1	4103	50,0	72	1,0	8173
4	DOLB	72	0,5	1138	9,6	2590	21,6	920	7,9	984	8,3	5064	43,1	383	3,1	11897
	EBR	25	0,4	866	13,4	1236	18,9	1033	16,2	471	7,5	2344	37,3	122	1,9	6372
	TRIANG	23	0,5	1238	22,6	684	11,4	822	13,9	656	11,0	2056	35,3	100	1,6	5789
3	DOLB	5	0,1	805	10,5	2874	35,9	97	1,4	514	6,9	2117	32,3	281	3,8	7397
	EBR	38	1,0	970	26,8	1567	45,2	38	1,0	216	6,4	482	14,0	110	3,3	3496
	TRIANG	65	1,1	1221	20,1	2044	34,5	352	5,7	353	5,7	1493	25,0	289	4,9	5982
2	DOLB	11	0,3	997	24,7	754	17,8	89	2,2	554	13,3	1078	26,8	272	6,8	4087
	EBR	7	0,9	294	40,7	100	14,1	12	2,0	92	12,4	113	15,6	77	10,5	722
	TRIANG	22	0,9	1418	51,0	538	18,0	33	1,0	202	7,9	408	15,7	85	2,7	2772
1	DOLB	23	0,6	231	14,9	101	4,4	32	1,5	290	14,4	1083	34,8	254	19,2	2259
	EBR	—	1,1	—	8,5	—	4,2	—	0,5	—	23,6	—	17,7	—	36,0	—
	TRIANG	15	1,1	59	12,3	17	8,9	2	1,2	25	12,7	208	29,1	71	25,0	461
<b>Sapinière à bouleau jaune — côte nord de la Gaspésie : haute Gaspésie (secteur de la SJNG)</b>																
7	PERDU	9	0,1	967	7,0	234	1,8	477	3,9	1391	9,9	8958	69,9	119	1,4	12872
	JARX	30	0,5	791	11,3	449	6,8	610	8,3	304	4,0	4551	56,3	369	5,8	7572
	BOUCHX	14	0,2	1083	11,1	65	0,9	839	8,5	976	9,7	5931	60,7	191	2,3	9731
6	PERDU	71	0,4	942	5,5	168	1,0	543	3,1	3268	18,7	10974	63,6	83	0,5	17281
	JARX	37	0,4	643	6,4	206	2,0	309	3,1	688	6,9	7328	72,8	265	2,6	10069
	BOUCHX	36	0,3	726	5,6	145	1,1	484	3,6	1634	12,4	9159	69,3	144	1,1	13211
5	PERDU	181	1,1	642	4,0	506	3,2	576	3,8	1088	6,7	12064	75,5	144	0,9	15979
	JARX	63	0,7	414	4,5	257	3,0	338	3,8	470	5,2	6838	75,5	251	2,8	9046
	BOUCHX	32	0,3	578	4,8	277	2,2	339	2,9	2321	18,7	7870	64,1	103	0,8	12286
4	PERDU	224	2,0	449	3,9	2054	18,1	956	8,3	575	4,9	6805	57,1	120	1,0	11743
	JARX	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	BOUCHX	68	0,7	448	4,2	1704	15,4	1234	11,8	341	3,2	6109	59,5	87	0,8	10432
3	PERDU	1375	8,0	673	3,9	11925	62,8	391	3,0	251	1,5	2515	17,4	135	0,8	17719
	JARX	755	6,3	241	3,2	8341	68,8	303	3,2	231	2,2	1303	13,4	165	1,7	11442
	BOUCHX	508	3,0	639	4,1	10862	65,7	400	2,7	302	1,9	2903	18,9	182	1,1	16219
2	PERDU	489	9,8	658	12,7	570	10,3	33	0,6	241	5,1	1593	33,9	282	6,0	4835
	JARX	61	5,2	278	19,0	166	11,1	16	1,3	83	6,6	423	38,8	94	8,3	1221
	BOUCHX	21	2,0	682	23,6	209	8,3	89	3,1	116	5,8	370	44,5	50	6,5	1673
1	PERDU	13	1,3	19	4,5	22	4,1	4	0,9	49	12,5	228	30,2	127	29,7	564
	JARX	3	1,3	14	10,3	5	2,5	0	0,1	18	18,7	34	21,5	40	34,9	137
	BOUCHX	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Sapinière à bouleau jaune — côte sud de la Gaspésie : baie des Chaleurs (secteur de la SJSG)</b>																
7	CARIB	2	0,0	420	5,6	63	0,8	93	1,3	475	5,6	6523	78,5	47	0,6	8289
	ROBIN	7	0,2	184	5,6	11	0,3	63	1,9	747	21,1	2097	61,5	24	0,7	3427
6	CARIB	0	0,0	468	4,8	124	1,3	37	0,4	1007	10,2	7160	70,0	56	0,5	10185
	ROBIN	13	0,2	334	6,2	62	1,0	116	2,0	1902	31,7	2822	50,5	57	1,0	5731
5	CARIB	9	0,1	813	5,5	132	0,9	108	0,8	2544	18,6	9590	65,1	36	0,2	14541
	ROBIN	33	0,7	601	12,5	188	3,9	98	2,0	1438	28,6	2256	45,2	60	1,2	4972
4	CARIB	104	0,7	631	4,7	1719	11,7	129	1,0	670	5,3	9779	71,2	140	1,0	13706
	ROBIN	37	1,1	359	10,8	515	15,5	177	5,3	307	9,3	1647	49,8	33	1,0	3310
3	CARIB	—	3,7	—	27,3	—	23,4	—	0,3	—	5,8	—	29,3	—	2,5	—
	ROBIN	27	1,5	640	35,5	318	17,3	33	1,8	176	9,5	470	25,7	56	3,0	1825
2	CARIB	—	1,3	—	37,5	—	2,0	—	0,1	—	4,3	—	36,9	—	6,7	—
	ROBIN	—	0,2	—	37,8	—	6,0	—	0,5	—	17,4	—	28,5	—	5,5	—
1	CARIB	—	0,3	—	7,8	—	2,5	—	0,1	—	24,1	—	10,0	—	50,5	—
	ROBIN	—	0,0	—	32,4	—	3,1	—	0,5	—	26,8	—	26,3	—	7,1	—

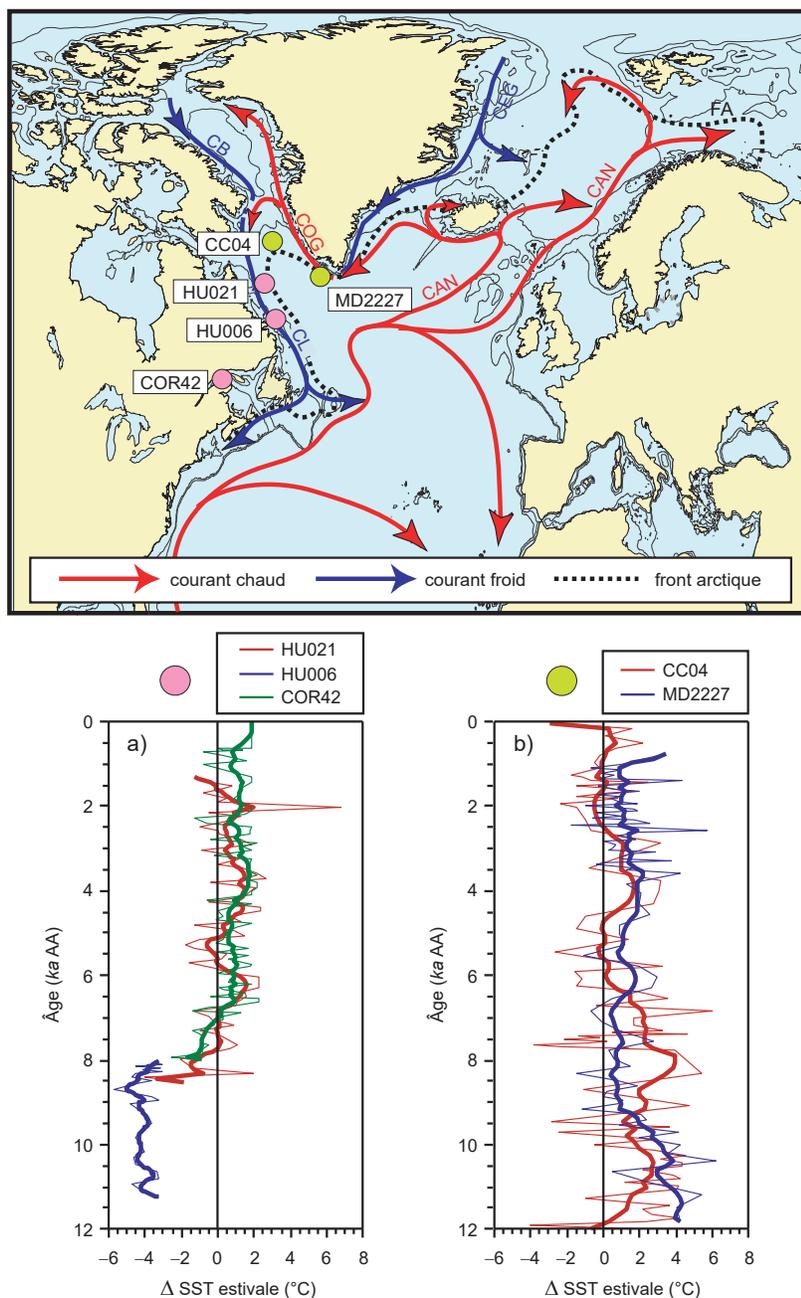
**Annexe 11.** Courbes des anomalies climatiques ( $\Delta$ ) de la température moyenne des mois le plus chaud (MTWA) et le plus froid (MTCO), des précipitations annuelles totales (PANN) et de l'ensoleillement estival (SUA), par tranches de 250 ans de sédiment aux 9 sites de la région GSL et aux 11 autres de la région NGSL. Voir la figure 13 pour les anomalies régionales. Les sites inclus dans les deux régions sont cartographiés à la droite des graphiques. La méthodologie employée pour l'interpolation des données climatiques des sites tous les 250 ans est décrite à la section 2.4.2.



Annexe 11. (suite et fin)

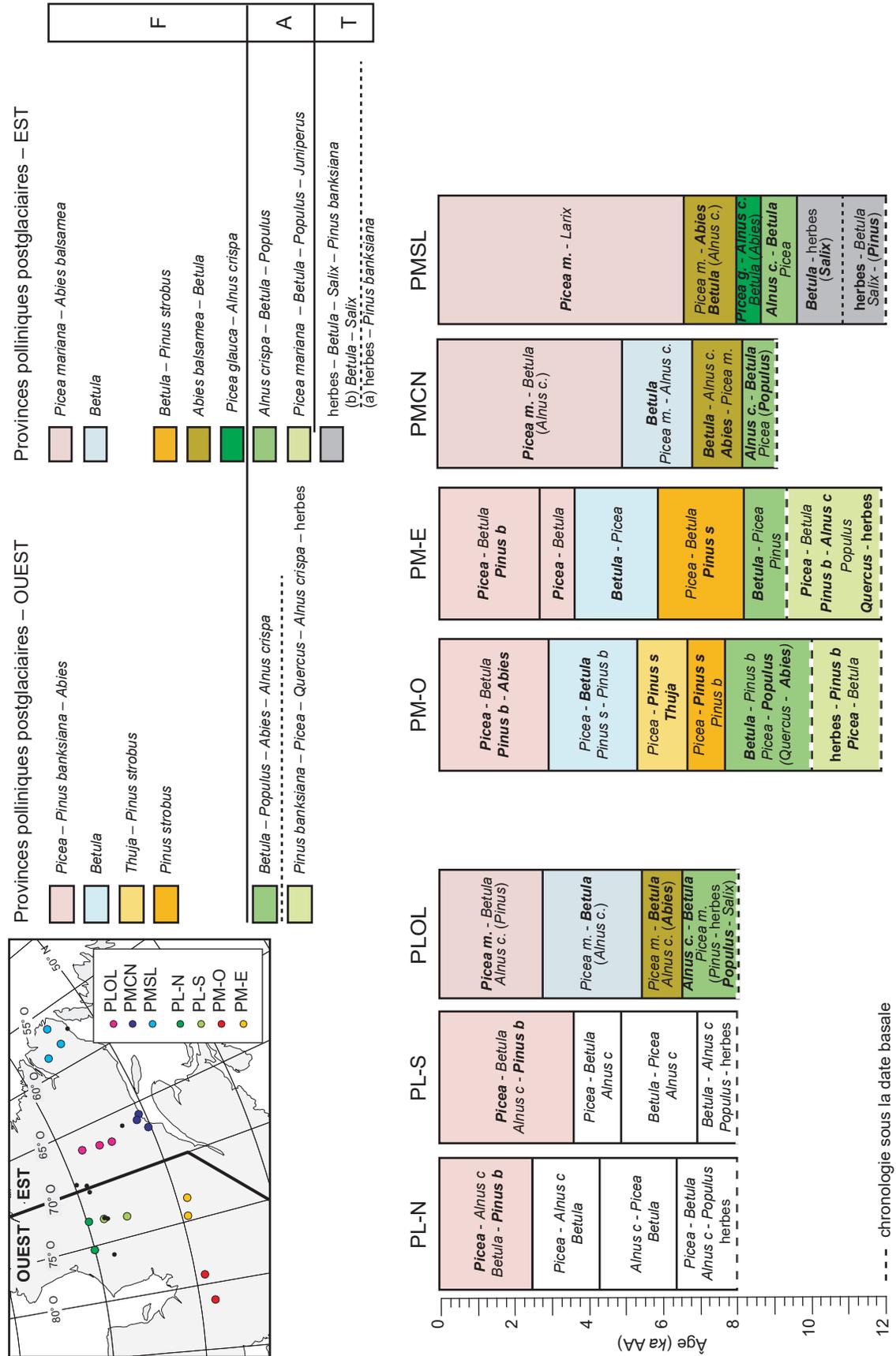


**Annexe 12.** Courbe traduisant l'anomalie ( $\Delta$ ) de la température des eaux de surface (SST) qui survient en été aux sites en marge de la mer du Labrador et en son centre. a) Sites en marge de la mer du Labrador : HU021 (HU84-030-021TWC, 58° 22,06' N., 57° 30,42' O.; de Vernal et Hillaire-Marcel [2006], Fréchette et de Vernal [2009]); HU006 (HU91-045-006PC, 54° 42,47' N., 56° 26,96' O.; Levac et de Vernal [1997]); COR42 (COR0602-42PC, 49° 7,18' N., 67° 16,80' O.; Lemay-Tougas [2014]). b) Sites au centre de la mer du Labrador : CC04 (HU2008-029-04CC, 61° 27,49' N., 58° 02,11' O., Gibb *et al.* [2015]); MD2227 (MD99-2227PC, 58° 12,64' N., 48° 22,38' O., de Vernal et Hillaire-Marcel [2006]). La reconstitution de la SST estivale des sites est basée sur la méthode des analogues modernes appliquée aux assemblages de kystes de dinoflagellés. Dans les graphiques, la ligne épaisse est une courbe lissée à travers les points et sur laquelle une interpolation des données tous les 250 ans a été faite. La courbe synthèse de l'anomalie de la SST estivale tous les 250 ans de la marge et du centre de la mer du Labrador est présentée à la figure 18b. Les 5 sites et les principaux courants de surface de la mer du Labrador, de la baie de Baffin et de l'Atlantique Nord sont illustrés sur la carte en haut (CB [en anglais, *BLC*] = courant de Baffin; CL [en anglais, *LC*] = courant du Labrador; COG [en anglais, *WGC*] = courant de l'ouest du Groenland; CEG [en anglais, *ECG*] = courant de l'est du Groenland; CAN [en anglais *NAC*] = courant de l'Atlantique Nord). La position du front arctique (FA) est également sur la carte. Elle marque l'extension maximale du couvert de glace de mer qui influence la position de la limite entre la forêt boréale et la forêt mixte dans les provinces atlantiques.



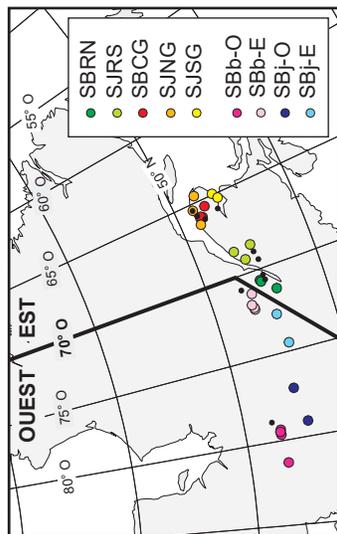
**Annexe 13.** Comparaison de la chronologie des zones d'assemblage pollinique (ZAP) et des provinces polliniques de l'est et de l'ouest du Québec à l'échelle des 7 secteurs des pessières et des 9 secteurs des sapinières. Voir la figure 16 dans Fréchette et al. (2018) pour plus de détails sur les provinces polliniques des 8 secteurs de l'ouest du Québec, de même que la figure 9 du présent mémoire pour les provinces polliniques des 8 secteurs de l'est du Québec et du Labrador méridional. Le nom des ZAP est inscrit dans les histogrammes, et les taxons clés sont en caractères gras. Ces taxons clés servent à la dénomination des provinces polliniques. La chronologie des provinces à l'est et de l'ouest est livrée à la figure 20.

**a) Secteurs des pessières (7 secteurs)**

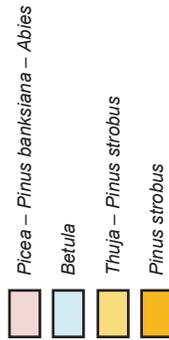


--- chronologie sous la date basale

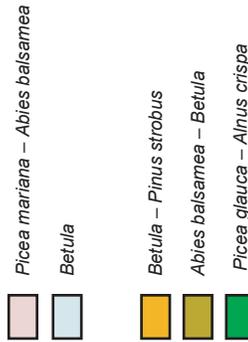
b) Secteurs des sapinières (8 secteurs)



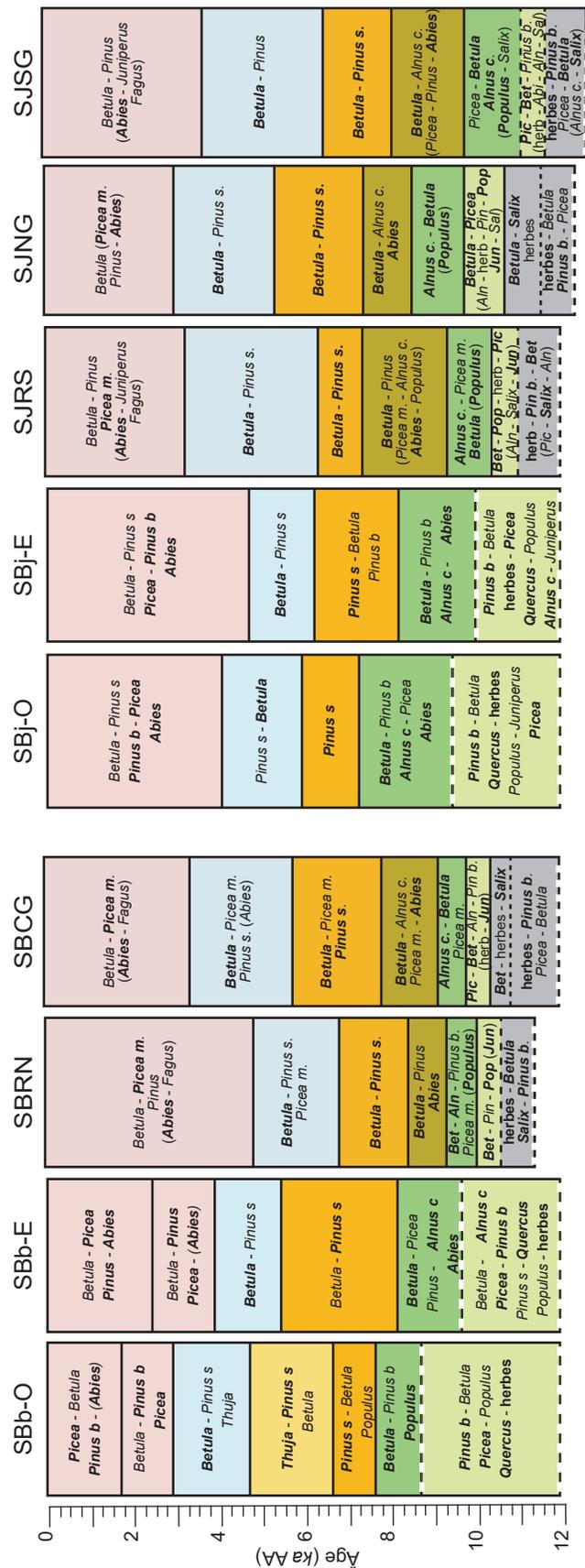
Provinces polliniques postglaciaires – OUEST



Provinces polliniques postglaciaires – EST

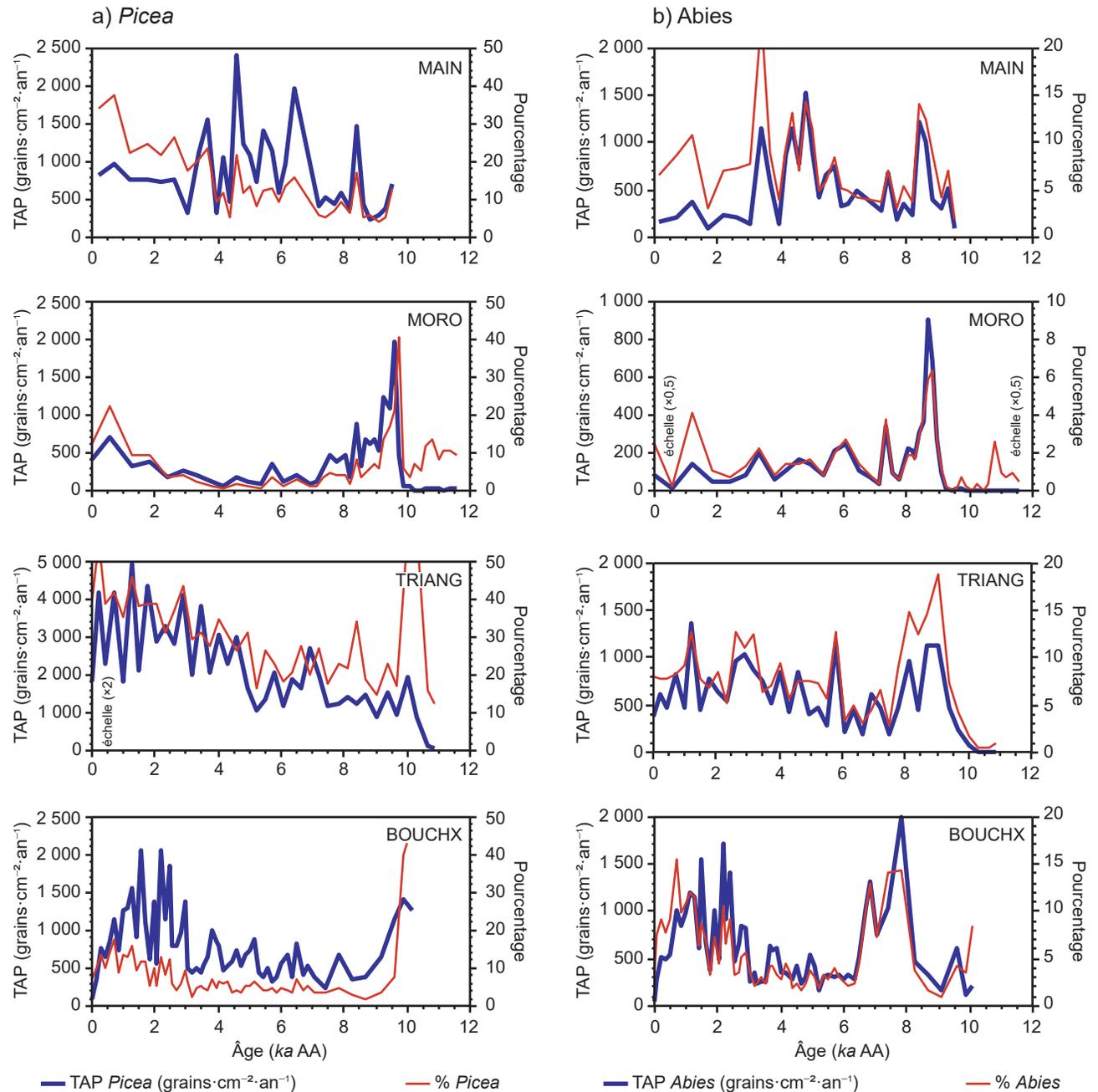


Betula – Populus – Abies – Alnus crispa	Alnus crispa – Betula – Populus	F
Pinus banksiana – Picea – Quercus – Alnus crispa – herbes	Picea mariana – Betula – Populus – Juniperus	A
Betula – Pinus s	herbes – Betula – Salix – Pinus banksiana	T
Pinus s - Betula	(b) Betula – Salix	
Pinus s - Betula	(a) herbes – Pinus banksiana	

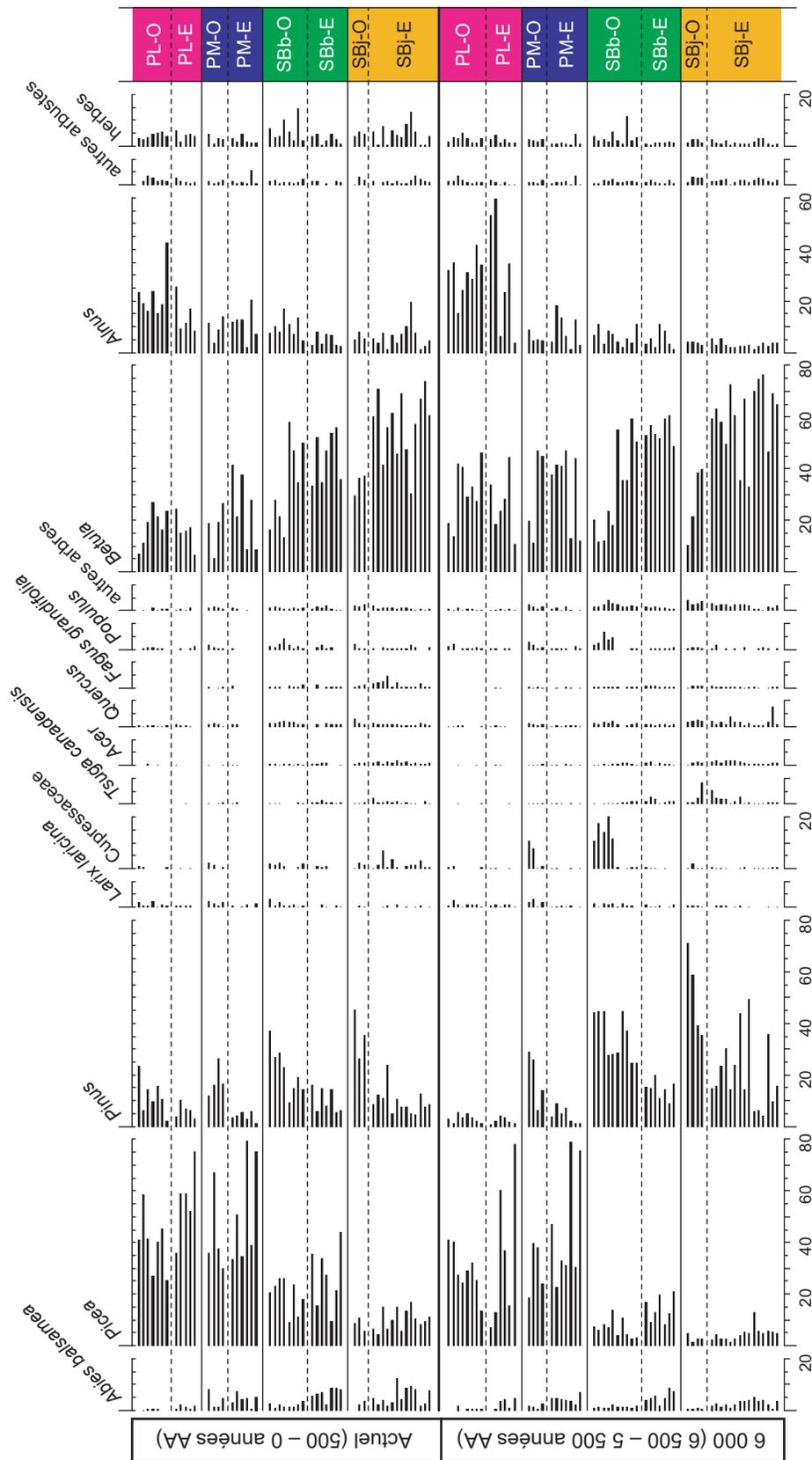


--- chronologie sous la date basale

**Annexe 14.** Taux d'accumulation pollinique (TAP) et pourcentage de *Picea* et d'*Abies* dans les sédiments de 4 sites des sapinières de l'est du Québec. Ils sont associés à un secteur en particulier (MAIN = SBRN; MORO = SJRS; TRIANG = SBCG; BOUCHX = SJNG). La courbe en trait épais bleu est celle du TAP et la courbe en trait fin rouge, celle du pourcentage. L'échelle du TAP (grains·cm<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>) est à la gauche des graphiques et celle des pourcentages est à la droite. La courbe pollinique en pourcentage des principaux taxons arborés et arbustifs de ces 4 sites est présentée à la figure 7.



**Annexe 15.** Comparaison des diagrammes polliniques de l'assemblage actuel (500-0 ans AA) et de celui à 6 000 ans AA des 35 sites de l'est du Québec et du Labrador méridional et des 26 autres de l'ouest du Québec. Dans le diagramme, les échantillons sont ordonnés comme à la figure 6, par domaine bioclimatique. Les lignes horizontales en trait plein délimitent les domaines bioclimatiques, et celles en pointillé séparent les sous-domaines de l'ouest et de l'est du Québec. À l'intérieur d'un même sous-domaine, les sites sont présentés en ordre décroissant de longitude ouest. La ligne horizontale en trait épais sépare les assemblages actuels de ceux de 6 000 ans AA. Voir la carte de la figure 6 pour l'emplacement des groupes de sites identifiés dans la colonne de droite.





Les chercheurs de la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, en collaboration avec ceux d'autres organisations, étudient la dynamique des forêts et des paysages forestiers du Québec méridional afin d'établir les relations entre ces paysages et les conditions du milieu (climat, milieu physique, perturbations naturelles et anthropiques). Le propos du présent mémoire est la prise en compte à long terme du facteur temps, bien au-delà de la durée des successions végétales et des forêts primitives ou précoloniales jadis observées. L'analyse pollinique a permis de remonter loin dans le passé et d'y observer, mesurer et quantifier les changements de végétation.

D'abord, nous avons reconstitué l'histoire postglaciaire de la végétation à partir des sédiments de 35 lacs de la forêt boréale de l'est du Québec et du sud du Labrador. Ensuite, nous avons mis en relation les changements de végétation survenus dans les paysages avec les modifications des climats passés. Cette « télédétection temporelle » sur plus de 12 millénaires permet de mieux comprendre la variabilité des conditions écologiques et des processus par lesquels se sont développées la flore et la végétation des domaines bioclimatiques boréaux de l'est du continent, pour lesquels le relief et la proximité de l'océan jouent un rôle important. Ces connaissances permettront de mieux comprendre et prévoir le comportement de ces écosystèmes dans le futur. Nous pourrions, par exemple, nous demander si une végétation apparentée à celle des périodes plus chaudes ou plus sèches du passé pourrait de nouveau se développer dans un monde qui se réchauffe. Cette réflexion sur la réaction des végétations passées et futures est essentielle à l'aménagement écosystémique du territoire québécois.