



Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'ouest du Québec

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

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 179

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Version du 17 septembre 2021,
contenant une version corrigée de l'annexe 6

Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'ouest du Québec

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

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 179

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

* Auteur de correspondance : 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 à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes 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
Internet : 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, P. Grondin, M. Lavoie et A.C. Larouche, 2018. *Histoire postglaciaire de la végétation et du climat des pessières et des sapinières de l'ouest du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 179, 165 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 : 978-2-550-82613-2

ISBN (PDF) : 978-2-550-82614-9

F.D.C. SD 390.5

L.C. 182.1 (714)

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 paléophytogéographie et de paly-

nologie (Département de géographie, Université de Montréal) de 1995 à 2000, elle étudie la variabilité post-glaciaire 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 (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'Université du Québec à Montréal 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 paléophytogéographie 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.



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.



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.



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 impor-

tante 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.

Avant-propos

Cette étude s'inscrit dans un vaste projet visant à documenter les changements plurimillénaires de la végétation et du climat du Québec depuis la déglaciation. Les données paléoécologiques à l'étude sont archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal. Nous avons essentiellement retenu les données polliniques de sédiments lacustres postglaciaires.

La présente synthèse paléoécologique porte sur les pessières et sapinières de l'ouest du Québec. Elle s'adresse autant aux naturalistes ou aux écologistes (forestiers, biologistes, géographes, etc.) peu familiers avec la paléoécologie qu'aux scientifiques initiés, pour peu que le lecteur ait un intérêt pour l'histoire de la végétation et du climat à l'échelle plurimillénaire. Les informations paléoécologiques que nous utiliserons sont tirées de l'analyse pollinique des sédiments.

Les principes de la méthode sont simples, mais son vocabulaire peut sembler quelque peu ésotérique; malgré nos efforts pour le réduire, une partie reste nécessaire afin de ne pas sacrifier à la vérité et à la précision. Pour permettre au lecteur d'appropriiser méthode et vocabulaire, nous avons décrit 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. Le tout est exposé d'emblée avec l'exemple d'un site.

Les résultats, eux aussi, sont présentés selon une approche « pas à pas » qui permet au lecteur de suivre la démarche de synthèse mise en œuvre. Certaines informations sont très détaillées (ex. section 4.3.1) afin de permettre un examen minutieux et critique de nos travaux par les lecteurs les plus avertis. Ceux qui sont plus pressés ou qui ont confiance en la démarche présentée pourront diriger leur attention vers les sections plus synthétiques et sur les figures qui, à elles seules, offrent un bon aperçu du contenu du document. Nous espérons qu'ainsi, tous pourront bien saisir tout le potentiel qu'offrent les données polliniques postglaciaires pour la planification de l'aménagement écosystémique des forêts, dans un contexte de changement climatique. Le présent travail de recherche comporte plusieurs annexes (intégrées à la publication) et suppléments (disponibles sur demande).

Résumé

La société presse les scientifiques de prédire les futurs changements climatiques et leurs effets sur les écosystèmes forestiers. Actuellement, nous connaissons mal 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 des dépôts organiques permet de retracer l'histoire du couvert végétal depuis le retrait des grands glaciers ainsi que les changements climatiques survenus depuis lors.

Cette recherche a pour but de dresser un portrait de l'histoire postglaciaire de la végétation et du climat de l'ouest du Québec. L'étude repose sur les assemblages polliniques postglaciaires de 26 sites du domaine bioclimatique de la pessière à lichens et des sous-domaines occidentaux de la pessière à mousses, de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune. Nous avons analysé les assemblages polliniques, puis résumé les résultats à différentes échelles spatiales et temporelles afin de reconstituer le climat et la végétation postglaciaires des sites. Les reconstitutions s'appuient sur la méthode des analogues modernes et sur une base de données modernes de 1 010 sites de l'est du Canada, pour lesquels l'assemblage pollinique, la végétation et le climat sont connus.

L'histoire de la végétation du territoire comporte 3 phases : une phase d'immigration des espèces végétales (avant 9 500 ans avant aujourd'hui, ou AA), une phase d'afforestation (9 500–7 500 ans AA) et une phase forestière (de 7 500 ans AA à aujourd'hui). Au début de la période postglaciaire, le lac proglaciaire Ojibway occupait une bonne partie de l'ouest du territoire. À cette époque, des populations éparses d'arbres, notamment de pins gris

(*Pinus banksiana* Lamb.) et d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), occupaient la rive sud du lac. À l'époque de l'afforestation, le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) était déjà présent dans la végétation de la Sagamie, de la Haute-Mauricie et du Témiscamingue. Au début de la phase forestière, les espèces thermophiles comme le pin blanc (*Pinus strobus* L.) étaient plus abondantes qu'aujourd'hui dans les forêts du Québec méridional, et le sapin baumier dominait les peuplements de l'Abitibi et du Témiscamingue.

Pendant la phase d'afforestation et au début de la phase forestière, des végétations contrastantes se côtoyaient dans l'ouest du Québec et étaient distribuées selon un gradient longitudinal bien différent de celui observé aujourd'hui. En Abitibi, une végétation de sapinière, riche en thuyas (*Thuja occidentalis* L.), occupait les terres. Plus à l'est, dans le secteur de la Haute-Mauricie et de la Sagamie, les bouleaux (*Betula* sp.) abondaient. Par la suite, entre 5 000 et 4 000 ans AA, un gradient latitudinal de la végétation semblable à celui observé aujourd'hui s'est mis en place. Les espèces boréales comme l'épinette noire et le pin gris sont devenues de plus en plus abondantes dans le paysage forestier de l'ouest du Québec depuis 3 500 ans AA. C'est à cette époque que la forêt boréale comme on la connaît aujourd'hui s'est implantée sur le territoire d'étude.

Le résultat de la reconstitution climatique montre que depuis 9 000 ans, la température de juillet s'est refroidie progressivement de 1 °C, les précipitations annuelles ont augmenté de 150 mm·an⁻¹ et le nombre d'heures d'ensoleillement estival a diminué. Une transition climatique est répertoriée vers 5 000 ans AA. Le climat du début de la phase forestière était plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui, et le ciel était plus clair et ensoleillé. Cette transition climatique pourrait s'expliquer par une circulation atmosphérique moins intense, notamment à cause d'une diminution de l'intensité des vents d'ouest.

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

Abstract

Society is pushing scientists to predict future climate change and its effects on forest ecosystems. Currently, we know little about climate history prior to direct meteorological observations. Yet, knowledge about the dynamics of vegetation in relation to climate over the past several millennia is necessary to understand how forest ecosystems will evolve in a world that is warming. Analysis of the pollen grain assemblages preserved in organic deposits, which constitute sedimentary archives, allows us to retrace the history of vegetation cover since the retreat of glaciers, and the change in climate that have ensued.

The aim of this research is to produce a complete picture of the postglacial history of vegetation and climate in western Quebec. The study is based on postglacial pollen assemblages from 26 sites in the spruce–lichen bioclimatic domain and the western spruce–moss, balsam fir–white birch and balsam fir–yellow birch subdomains. We have analyzed these pollen assemblages and summarized the results at different spatial and temporal scales in order to reconstruct the postglacial climate and vegetation of the sites. These reconstructions are based on the modern analogue technique and on a database of 1010 modern sites in eastern Canada for which the pollen assemblage, vegetation and climate are known.

The history of the study area's vegetation can be divided into three phases: a phase of plant species immigration (predating 9500 years before present, or BP), an afforestation phase (9500–7500 years BP) and a forest phase (from 7500 years BP until today). At the beginning of the postglacial period, proglacial Lake Ojibway covered much of the western portion of the territory. At the time, sparse populations of trees, especially jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) and

black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), stood on the southern shore of the lake. During the afforestation phase, balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) was already present in the vegetation of the Sagamie, Haute-Mauricie and Témiscamingue regions. At the beginning of the forest phase, thermophilous species such as white pine (*Pinus strobus* L.) were more abundant than they are today in Quebec's southern forests, and stands were dominated by balsam fir in the Abitibi and Témiscamingue regions.

During the afforestation phase and the beginning of the forest phase, contrasting vegetation types coexisted in western Quebec and were distributed along a longitudinal gradient quite different from that observed today. Vegetation composed of fir stands rich in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.) covered Abitibi. Further east, in the Haute-Mauricie and Sagamie sectors, birches (*Betula* sp.) were abundant. Subsequently, between 5000 and 4000 years BP, a latitudinal gradient in vegetation resembling today's was established. Boreal species like black spruce and jack pine have become increasingly abundant in the forest landscape of western Quebec since 3500 years BP, when the boreal forest as we know it today established across the study area.

The result of our climate reconstruction shows that over the past 9000 years, July temperatures have cooled progressively by 1 °C, annual precipitation has increased by 150 mm·yr⁻¹ and the number of hours of summer sunshine has decreased. A climate transition is recorded around 5000 years BP. The climate at the beginning of the forest phase was warmer and drier than today, and skies were more often clear and sunny. This climate transition can be explained by less intense atmospheric circulation, notably due to diminishing west winds.

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

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 financièrement cette étude par l'intermédiaire du Fonds vert. Cette étude a également bénéficié d'un soutien financier du professeur Yves Bergeron (FRQNT — Actions concertées — Aménagement et environnement forestiers V [2014-FV-177670] : *États de référence et variabilité naturelle des paysages forestiers de la pessière noire à mousses de l'Ouest*). Elle s'insère également dans le projet interne (n° 142332129) 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* et sous la responsabilité de Pierre Grondin. Merci à Jocelyn Gosselin (DIF) qui

nous a suggéré de produire un document accessible aux forestiers intéressés par la paléoécologie. Sa gestion efficace du budget provenant du Fonds vert et ses conseils donnés ici et là au cours du travail ont été grandement appréciés. Pierre-Luc Couillard, de la DIF également, a commenté des versions préliminaires du document. Merci aux trois évaluateurs anonymes pour leurs commentaires constructifs. Merci à Denise Tousignant, éditrice scientifique à la DRF, pour ses conseils techniques à la révision du texte. Nous avons également bénéficié de la collaboration de Véronique Poirier et de Jean Noël de l'équipe de géomatique de la DRF, ainsi que de Nathalie Langlois, de Viviane St-Arnaud et de Maripierre Jalbert pour la vérification typographique, la mise en page et le graphisme. Enfin, merci à Karen Grislis pour la traduction du résumé.

Table des matières

Résumé	vii
Abstract	viii
Remerciements	ix
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures	xiv
Liste des annexes	xv
Liste des abréviations	xvi
Liste des suppléments	xvii
Introduction	1
Chapitre premier – Sites d’étude	3
1.1 Territoire à l’étude	3
1.2 Choix des sites	3
1.3 Climat des sites	6
1.4 Déglaciation des sites	7
Chapitre deux – Notions d’analyse pollinique	9
2.1 Concepts et approche	9
2.1.1 Représentation pollinique des plantes	9
2.1.2 Flux pollinique (ou provenance du pollen)	10
2.2 Précisions terminologiques	10
Chapitre trois – Méthodologie	15
3.1 Analyse des données polliniques et climatiques modernes de l’est du Canada (1 010 sites)	19
3.1.1 Description de la base de données	19
3.1.2 Classement des assemblages polliniques modernes	23
3.1.3 Détermination de la végétation associée aux assemblages polliniques modernes	23
3.1.4 Assemblage pollinique type à l’échelle des domaines bioclimatiques du Québec	23
3.2 Analyse des données polliniques postglaciaires de l’ouest du Québec (26 sites)	24
3.2.1 Description de la base de données	24
3.2.2 Chronologie des sites	24
3.2.3 Zones d’assemblage pollinique (ZAP) des sites	25
3.2.4 Taux d’accumulation pollinique (TAP) total du sédiment et de <i>Picea</i> et d’ <i>Abies</i> des sites	26
3.2.5 Reconstitution du climat postglaciaire des sites	26
3.2.6 Reconstitution de la végétation postglaciaire des sites	28
3.3 Synthèse des données polliniques postglaciaires des sites de l’ouest du Québec et description de l’histoire de la végétation	28
3.3.1 Synthèse de la végétation postglaciaire à l’échelle de la palynostratigraphie des 8 secteurs	28
3.3.2 Synthèse de la végétation postglaciaire à l’échelle des 6 provinces polliniques	30

3.4 Synthèse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat de l'ouest du Québec à l'échelle du millénaire.	30
3.4.1 Climat millénaire de l'ouest du Québec	30
3.4.2 Régionalisme du climat millénaire à travers l'ouest du Québec	31
3.4.3 Répartition de la végétation millénaire dans l'ouest du Québec.....	31
3.4.4 Densité du couvert forestier millénaire dans l'ouest du Québec.....	32
Chapitre quatre – Résultats	33
4.1 Données polliniques modernes de l'est du Canada.....	33
4.1.1 Groupes d'assemblages polliniques de la base de données modernes	33
4.1.2 Taxons indicateurs à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec.....	37
4.1.3 Assemblage pollinique type à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec.....	38
4.2 Données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec.....	39
4.2.1 Assemblages polliniques des sédiments de surface	40
4.2.2 Courbe pollinique des taxons indicateurs.....	42
4.2.3 TAP total des sédiments.....	45
4.2.4 TAP de <i>Picea</i>	45
4.2.5 TAP d' <i>Abies</i>	48
4.3 Synthèse des données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec et description de l'histoire de la végétation	48
4.3.1 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires des 8 secteurs de l'ouest du Québec	48
4.3.2 Phases de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec.....	70
4.4 Dynamique spatiotemporelle millénaire du climat et de la végétation de l'ouest du Québec.....	75
4.4.1 Évolution du climat millénaire de l'ouest du Québec	76
4.4.2 Répartition de la végétation millénaire dans l'ouest du Québec et son lien avec le climat	80
Chapitre cinq – Discussion	87
5.1 Lien entre les assemblages polliniques, la végétation et le climat de l'est du Canada.....	87
5.2 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires de l'ouest du Québec	88
5.2.1 Régionalisme de la palynostratigraphie	88
5.2.2 Absence d'une végétation de toundra au début de la période postglaciaire	89
5.2.3 Forts pourcentages du pollen de pin blanc au début de la phase forestière.....	89
5.2.4 Histoire postglaciaire de la végétation des sous-domaines bioclimatiques	90
5.3 Histoire millénaire de la végétation de l'ouest du Québec en lien avec le climat	91
5.3.1 Séquence des domaines bioclimatiques	91
5.3.2 Absence d'une végétation de sapinière à bouleau blanc	91
5.3.3 Densité maximale de la forêt	92
5.3.4 Déclin des populations de thuyas et de pins blancs.....	92
5.3.5 Effet de la circulation atmosphérique.....	93
Conclusion	95
Références bibliographiques	97
Annexes	103

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des 26 sites du territoire d'étude	4
Tableau 2. Climat actuel des sites des sous-domaines occidentaux de la pessière à mousses (PM), de la sapinière à bouleau blanc (SBb), de la pessière à lichens (PL) et de la sapinière à bouleau jaune (SBj)	7
Tableau 3. Caractérisation de l'assemblage pollinique type des végétations à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec	38
Tableau 4. Âge, description et végétation reconstituée à l'époque des zones d'assemblage pollinique (ZAP) par domaine bioclimatique et par secteur	57
Tableau 5. Description des 6 provinces polliniques de l'ouest du Québec	71

Liste des figures

Figure 1.	Carte de la répartition des 26 sites à l'étude à travers 4 domaines bioclimatiques du Québec méridional	6
Figure 2.	Gradient climatique du territoire d'étude	8
Figure 3.	Notions d'analyse pollinique	11
Figure 4.	Organigramme du cheminement méthodologique	16
Figure 5.	Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis : chronologie des sédiments en années avant aujourd'hui (AA) en fonction de la profondeur	17
Figure 6.	Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis (suite) : palynostratigraphie et reconstitution climatique des sédiments en fonction de la profondeur ..	18
Figure 7.	Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis (suite) : information sur les analogues modernes et la reconstitution de la végétation postglaciaire du site	20
Figure 8.	Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis (suite) : résumé des résultats polliniques et climatiques par tranche de 1 000 ans de sédiments	22
Figure 9.	Cartes de la répartition des sites et diagrammes polliniques sommaires des sédiments de surface de la base de données modernes de l'est du Canada, regroupés en fonction du résultat du groupement <i>K-means</i>	34
Figure 10.	Points ombrothermiques durant la saison de croissance des sites appartenant aux 5 grands groupes d'assemblages polliniques modernes	36
Figure 11.	Assemblage pollinique des sédiments de surface des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec	41
Figure 12.	Courbes polliniques (pourcentage en fonction de l'âge des sédiments) des principaux taxons arboréens et arbustifs (taxons indicateurs) des pessières (PL, PM) et des sapinières (SBb, SBj) de l'ouest du Québec depuis la déglaciation	43
Figure 13.	Courbes du taux d'accumulation pollinique (TAP) total du sédiment et du TAP de <i>Picea</i> et d' <i>Abies</i> dans l'ouest du Québec depuis la déglaciation	46
Figure 14.	Diagrammes polliniques sommaires des 20 sites utilisés pour résumer la palynostratigraphie postglaciaire des 8 secteurs du territoire d'étude	49
Figure 15.	Détail de la construction des 8 palynostratigraphies synthèses du territoire d'étude en fonction de l'âge, par domaine bioclimatique et par secteur (Ouest et Est, Nord et Sud)	54
Figure 16.	Comparaison des 8 palynostratigraphies synthèses de l'ouest du Québec en fonction de l'âge, par domaine bioclimatique et par secteur (Ouest et Est, Nord et Sud)	55
Figure 17.	Reconstitution de la végétation postglaciaire des 8 secteurs à l'époque des ZAP.....	56
Figure 18.	Sommaire de la reconstitution de la végétation postglaciaire à l'échelle du domaine de la pessière à lichens (PL) dans l'ouest du Québec et des 3 sous-domaines bioclimatiques (PM, SBb, SBj) de l'Ouest.....	73
Figure 19.	Évolution du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaires de l'ouest du Québec calculés sur la base des données des 26 sites	77
Figure 20.	Variabilité régionale du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaires de l'ouest du Québec pour la Jamésie, l'Abitibi et la Sagamie	78
Figure 21.	Diagrammes des assemblages polliniques millénaires des 26 sites de l'ouest du Québec à la période actuelle ainsi qu'à 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA	82
Figure 22.	Cartes de la répartition des végétations millénaires dans l'ouest du Québec à la période actuelle et à 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA	83

Liste des annexes

Annexe 1.	Cartes de la répartition des sites modernes	103
Annexe 2.	Information sur le choix des sites et des taxons de la base de données modernes de l'est du Canada	104
Annexe 3.	Liste des taxons sporopolliniques de la base de données postglaciaires et de la base de données modernes, et information sur le groupement des taxons	105
Annexe 4.	Cheminement de la technique de groupement <i>K</i> -means appliquée aux 1 010 assemblages polliniques de la base de données modernes, caractéristiques des différents groupes, et climat moyen et végétation estimée des 15 groupes d'assemblages polliniques	111
Annexe 5.	Diagrammes polliniques des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec et résultat du groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (CONISS)	112
Annexe 6.	Dates radiocarbones (¹⁴ C) conventionnelles et âges étalonnés des 26 sites à l'étude	139
Annexe 7.	Description des zones d'assemblage pollinique (ZAP) des 26 sites de l'ouest du Québec	143
Annexe 8.	Précision (r^2 et RMSE) de la technique de reconstitution climatique	158
Annexe 9.	Cartes de la répartition des sites modernes avec un assemblage pollinique comparable à celui des sites postglaciaires de l'ouest du Québec, par domaine bioclimatique et par secteur	159

Liste des abréviations

Concepts

AA : avant aujourd'hui
CP : concentration pollinique
ka : milliers d'années (en latin, *kilo annum*)
SP : somme pollinique
TAP : taux d'accumulation pollinique
TAS : taux d'accumulation sédimentaire
ZAP : zone d'assemblage pollinique (ou unité palynostratigraphique)

Domaines bioclimatiques

PL : pessière à lichens
PM : pessière à mousses
SBb : sapinière à bouleau blanc
SBj : sapinière à bouleau jaune
TF : tundra forestière

Variables climatiques

GDD0 : nombre de degrés-jours au-dessus de 0 °C
GDD5 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C
PJJA : précipitations estivales totales (juin, juillet, août)
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
SJJA : ensoleillement estival (juin, juillet, août) en % d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil (en anglais, *summer sunshine*)

Termes statistiques

CONISS : programme de groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (en anglais, *constrained incremental sum of squares*)
TSS : somme des carrés des écarts à la moyenne (en anglais, *total sum of squares*)
SCD : mesure de corde au carré (en anglais, *squared chord distance*)
SCD_{max} : mesure de corde au carré du 5^e et dernier analogue
RMSE : erreur quadratique moyenne (en anglais, *root mean square error*)
 r^2 : coefficient de corrélation de Pearson

Liste des suppléments¹

- Supplément 1** Diagrammes polliniques des 1010 sites de la base de données modernes. Les sites sont regroupés en fonction du résultat du groupement *K*-means. a) Assemblages polliniques des sites du groupe A (491 sites), appartenant à la toundra forestière et à la forêt boréale. b) Assemblages polliniques des sites du groupe B (519 sites), appartenant à la forêt mixte et à la prairie. c) Assemblages polliniques moyens des 15 groupes *K*-means.
- Supplément 2** Dates radiocarbones étalonnées en années avant aujourd'hui (AA) et modèles âge-profondeur des 26 sites, présentés par domaine bioclimatique.
- Supplément 3** Reconstitution du climat postglaciaire des 26 sites de l'ouest du Québec, par domaine bioclimatique.
- Supplément 4** Information sur les assemblages actuels associés aux assemblages postglaciaires des zones d'assemblage pollinique (ZAP) des 8 palynostratigraphies synthèses illustrées à la figure 16, par domaine bioclimatique et par secteur.
- Supplément 5** Information sur les assemblages actuels associés aux assemblages millénaires des sites de l'ouest du Québec, présentée pour tous les millénaires entre l'actuel et 8 000 ans AA.

¹ 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) ou de la Direction de la recherche forestière (recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca). Ils peuvent aussi être téléchargés à l'adresse: <https://www.mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/memoire179-supplement.pdf>.

Introduction

L'aménagement écosystémique vise à maintenir les écosystèmes dans un état sain et résilient. Plus particulièrement, 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 ainsi, par ricochet, des 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 au Pléistocène supérieur (de 125 000 à 11 700 années avant aujourd'hui, ou ans AA) et à l'Holocène inférieur (de 11 700 à 8 200 ans AA) (Walker *et al.* 2012). La composition des éléments de la flore qui talonnait le retrait des glaces a beaucoup varié dans l'espace et dans le temps, de 13 500 à environ 6 000 ans AA, quand les derniers lambeaux du grand glacier sont disparus du centre de la péninsule du Québec-Labrador. Cette flore s'est modifiée et progressivement enrichie malgré des extinctions 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, etc.) (Richard 1977, 1978, 1995, Richard et Grondin 2009).

Certes, dans la plupart des travaux paléo-écologiques québécois fondés sur les résultats de l'analyse pollinique, les interprétations de la végétation passée et du climat ancien se sont appuyées sur les liens observés de nos jours entre le climat, la végétation, et les assemblages polliniques qui en résultent. Toutefois, l'approche utilisée est restée essentiellement qualitative. Au Québec, les travaux de Muller *et al.* (2003), Lavoie *et al.* (2013), Paquette et Gajewski (2013) et Lafontaine-Boyer et Gajewski (2014) pour la forêt mixte, et de Viau et Gajewski (2009) pour la forêt boréale, font figure d'exception parce qu'ils livrent une reconstitution quantitative du climat. Mentionnons aussi les travaux pionniers de Webb *et al.* (1978, 1983) touchant la cartographie numérique de la représentation pollinique de la végétation du Québec méridional. Des modélisations climatiques portant sur les 7 000 dernières années ont récemment été produites pour cette région (Ali *et al.* 2012, Blarquez *et al.* 2015, Oris *et al.* 2014).

Le but de cette étude est d'explorer, 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'ouest du Québec. Cette approche a été utilisée avec succès à l'échelle continentale des biomes (Williams *et al.* 2000) ou pour examiner les gradients climatiques de la région des Grands Lacs (Davis *et al.* 2000), mais n'a encore jamais été appliquée à l'échelle des domaines et sous-domaines bioclimatiques.

Les 4 objectifs suivants sont visés :

- 1) préciser le lien entre les assemblages polliniques de surface, la végétation et le climat dans l'est du Canada;
- 2) reconstituer de manière objective, numériquement fondée, l'histoire de la végétation et du climat postglaciaires dans l'ouest du Québec;
- 3) dresser un portrait de la végétation postglaciaire de l'ouest du Québec à l'échelle du domaine bioclimatique;
- 4) résumer la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat de l'ouest du Québec à l'échelle du millénaire.

L'information paléoécologique utilisée dans cette recherche provient d'une vingtaine de diagrammes polliniques postglaciaires archivés au Département de géographie de l'Université de Montréal. Cette véritable mine d'or est le fruit de la carrière de recherche du professeur émérite Pierre J.H. Richard. Les diagrammes polliniques disponibles, dont plusieurs n'ont jamais été formellement publiés, renferment des informations sur les anciens climats et sur la végétation du passé. Ces données doivent être analysées et synthétisées dans le but de caractériser la variabilité passée de la végétation sous des climats changeants. On pourra ainsi, éventuellement, comparer leur écart avec la végétation estimée sous des conditions climatiques futures (Bergeron *et al.* 2010, Girardin *et al.* 2013, Terrier *et al.* 2014).

Chapitre premier

Sites d'étude

1.1 Territoire à l'étude

Les sous-domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et de la pessière à mousses de l'Ouest couvrent le territoire québécois compris entre les latitudes 48° et 51° N. et les longitudes 70° 30' et 79° O. (Saucier *et al.* 2009). Leur frontière commune se situe approximativement le long du 49^e parallèle. Le passage du domaine de la sapinière à celui de la pessière est marqué par une légère baisse de la température et du nombre de degrés-jours. Le long du gradient latitudinal, le relief s'adoucit. Il est principalement caractérisé par des collines dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et par des coteaux ou des plaines dans le sous-domaine de la pessière à mousses de l'Ouest (MRN 2013, Robitaille et Saucier 1998). L'altitude augmente et le relief s'accroît de l'ouest vers l'est du territoire d'étude.

La végétation forestière actuelle se compose principalement de six essences communes aux deux domaines : 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 (aussi appelé bouleau à papier : *Betula papyrifera* Marsh.) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Le cycle de feu est relativement court et les espèces de début de succession abondent (pin gris, bouleau blanc, peuplier faux-tremble) (Bergeron *et al.* 2004). Les coteaux et collines, abondants dans le domaine de la sapinière et dispersés dans celui de la pessière, sont généralement dominés par le bouleau blanc après feu (Blouin et Berger 2002, Blouin *et al.* 2008). Ces sites évoluent vers des sapinières à bouleau blanc. Les reliefs ondulés ou relativement plats, abondants dans le sous-domaine de la pessière à mousses de l'Ouest et dispersés dans celui de la sapinière, sont dominés après feu par le pin gris et l'épinette noire (Blouin et Berger 2004). Sur les argiles de la portion ouest du territoire d'étude (relief ondulé à plat), les peuplements mixtes composés de peupliers faux-tremble, de pins gris et d'épinettes noires sont bien représentés (Blouin et Berger 2005). On estime que ces peuplements font principalement l'objet d'une dynamique cyclique de début de succession. Les sites sur argiles mésiques, moins touchés par les feux, supportent cependant des pessières noires à

sapin. Enfin, la portion nord-ouest est caractérisée par de nombreux sites au drainage déficient. La paludification y est active, de sorte que la couche de matière organique s'épaissit selon le temps écoulé depuis le dernier feu. Selon la sévérité des feux, les pessières noires humides sont assez denses (sol minéral exposé par les feux) ou relativement ouvertes et de structure irrégulière (sol organique) (Lecomte et Bergeron 2005, Lecomte *et al.* 2006).

1.2 Choix des sites

L'histoire de la végétation et du climat post-glaciaires des sous-domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et de la pessière à mousses de l'Ouest du Québec présentée dans ce travail s'appuie sur l'étude de diagrammes polliniques de dépôts sédimentaires (sites). Les sites pertinents à notre étude sont archivés au Département de géographie de l'Université de Montréal. Parmi tous les sites disponibles, nous avons tout d'abord répertorié ceux appartenant aux sous-domaines de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et de la pessière à mousses de l'Ouest. Nous avons ensuite recherché quelques sites supplémentaires en périphérie, plus particulièrement au nord et au sud du territoire à l'étude, en vue de dresser un portrait comparatif de la végétation postglaciaire de la région. Par la suite, nous avons exclu tous les sites sans contrôle chronologique (aucune date ¹⁴C) et ceux présentant un diagramme pollinique partiel, en raison notamment d'une interruption (hiatus) dans la sédimentation sous l'effet de changements du niveau d'eau des lacs. Les sites retenus possèdent donc tous un diagramme pollinique continu, c.-à-d. des assemblages polliniques (échantillons) couvrant l'ensemble de la période postglaciaire, et une chronologie reposant sur au moins deux dates au radiocarbone (¹⁴C). Nous avons privilégié les diagrammes polliniques provenant de lacs à ceux des tourbières. À l'échelle des domaines bioclimatiques, les assemblages polliniques des sédiments de lacs livrent généralement une image plus « pure » de la végétation régionale que ceux des tourbières, parce que la végétation lacustre (locale) et celle des rives humides (extra-locale) peuvent facilement être identifiées et exclues du diagramme pollinique (Richard 1977).

Tableau 1. Caractéristiques des 26 sites du territoire d'étude.

Domaine bioclimatique	Nom (et sigle) du site	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	Superficie (ha)	Épaisseur du sédiment (cm)	Transition minérale/organique (cm)	Nombre de dates ¹⁴ C, ²¹⁰ Pb
Pessière à lichens (PL)	Grande Rivière de la Baleine (GB2)	55° 06'	75° 17'	300	5	240	~ 200	4
	LG-4-83-09 (LG409)	54° 54'	72° 47'	442	5,3	225	~ 205-210	5
	Brisay (BRI2)	54° 21'	70° 21'	595	1	143	~ 130-140	3
	LG-4-83-06 P (LG406P)	54° 04'	72° 56'	365	7,1	365	s. o.*	7
	LG-4-83-05 (LG405)	54° 04'	72° 55'	350	1	192	~ 184	4
	Béréziuk (BER)	54° 03'	76° 07'	205	3,5	500	~ 430-450	3
	LG-4-83-01 P (LG401P)	54° 02'	72° 52'	470	3	161	~ 150-161	4
	LG-4-83-12 (LG412)	52° 51'	73° 18'	534	3,75	270	~ 260	5
Pessière à mousses (PM)	Crates (Lake) (CRATES)	49° 11'	81° 16'	259	10	630	s. o.	6
	Pessière (lac à la) (PESS)	49° 30'	79° 14'	280	4	615	~ 590	7
	Chapais 2 (Lake) (CH2)	49° 41'	74° 35'	380	5	465	s. o.	6
	Desautels (DES)	49° 27'	73° 15'	480	3	567	~ 560	5
Sapinière à bouleau blanc (SBb)	(Lake) Six (SIX)	48° 24'	81° 19'	300	10	400	s. o.	3
	Yelle (lac) (YELLE)	48° 30'	79° 38'	356	3,2	500	~ 382-387	3
	Francis (lac) (FRANC)	48° 32'	79° 28'	305	0,78	300	~ 263	15
	Clo (CLO)	48° 30'	79° 21'	280	7	550	~ 362	3
	Pas de Fond (lac) (PFOND)	48° 48'	78° 50'	290	3	378	~ 338	12
	Saint-François de Sales (SFS)	48° 18'	72° 09'	358	1	576	~ 448-470	4
	Prudent (PRU)	48° 18'	72° 03'	315	0,5	300	~ 260-275	2
	Couchepaganiche (COUCH)	48° 22'	71° 51'	191	0,79	949	s. o.	4
	Flévy (lac) (FLEVY)	48° 13'	71° 13'	381	1,5	575	s. o.	3
	Valin (mont) 1 (VAL1)	48° 36'	70° 50'	841	0,2	390	~ 300-330	4
Sapinière à bouleau jaune (SBj)	Louis (lac) (LOUIS)	47° 17'	79° 07'	300	6,5	n.a.	s. o.	3
	Neume (lac) (CGC27)	47° 35'	77° 07'	363	2,9	470	~ 447-455	5
	Bride (lac) (BRIDE)	47° 19'	74° 31'	425	1,7	335	~ 305	6
	Martini (MART)	47° 28'	72° 46'	242	2	496	~ 460-465	5

* Moyenne ± écart-type.

† Uniquement les échantillons au-dessus de la date basale.

‡ s. o. : sans objet.

Profondeur de la date basale (cm)	Âge ^{14}C de la date basale (années AA)*	Âge étalonné de la date basale (années AA)	Nombre d'échantillons avec un assemblage pollinique	Pas analytique des échantillons (cm)*	Résolution des échantillons (années)*, †	Références
240	6240 $\pm$ 160	7 126	58	4,2 $\pm$ 1,7	126 $\pm$ 57	Gajewski <i>et al.</i> (1993)
212,5	5790 $\pm$ 160	6604	23	9,8 $\pm$ 1,1	312 $\pm$ 27	Richard, inédit
140,5	5980 $\pm$ 240	6836	19	7,9 $\pm$ 2,7	400 $\pm$ 141	Richard <i>et al.</i> (1982)
329,5	6360 $\pm$ 140	7 271	34	10	211 $\pm$ 94	Richard, inédit
180,5	4850 $\pm$ 80	5589	19	10	310 $\pm$ 57	Richard, inédit
430	6630 $\pm$ 170	7 513	24	21,5 $\pm$ 5,7	421 $\pm$ 202	Richard (1979)
157,5	6010 $\pm$ 90	6861	16	10	413 $\pm$ 105	Richard, inédit
260	5820 $\pm$ 180	6643	29	9,6 $\pm$ 1,3	253 $\pm$ 100	Richard, inédit
513	8800 $\pm$ 110	9859	63	10,1 $\pm$ 1,4	191 $\pm$ 60	Liu (1982)
578	6720 $\pm$ 80	7585	70	8	107 $\pm$ 6	Carcaillet <i>et al.</i> (2001, 2010)
449	7660 $\pm$ 100	8466	96	4,9 $\pm$ 0,8	95 $\pm$ 42	Garralla et Gajewski (1992)
553,5	9 130 $\pm$ 240	10301	46	12,6 $\pm$ 5,5	241 $\pm$ 136	Richard (1993) - publication partielle
294	6970 $\pm$ 100	7804	39	10,0 $\pm$ 2,0	266 $\pm$ 19	Liu (1982, 1990)
380	8900 $\pm$ 90	9998	32	16,1 $\pm$ 5,0	450 $\pm$ 162	Richard (1980a)
297,5	6420 $\pm$ 120	7336	64	4,7 $\pm$ 0,9	126 $\pm$ 42	Carcaillet <i>et al.</i> (2001, 2010)
357	8310 $\pm$ 80	9311	29	17,9 $\pm$ 4,2	460 $\pm$ 147	Richard (1980a)
328	6920 $\pm$ 130	7765	14	30,8 $\pm$ 4,4	749 $\pm$ 170	Carcaillet <i>et al.</i> (2001)
453	8955 $\pm$ 200	10032	40	14,6 $\pm$ 8,2	437 $\pm$ 153	Richard (1977)
245	8950 $\pm$ 150	10022	28	10,4 $\pm$ 2,9	465 $\pm$ 153	Richard, inédit
901,3	8400 $\pm$ 95	9396	27	35,0 $\pm$ 8,9	369 $\pm$ 115	Richard, inédit
569	10310 $\pm$ 130	12112	32	18,6 $\pm$ 3,8	398 $\pm$ 262	Richard, inédit
384	9920 $\pm$ 165	11454	25	15,8 $\pm$ 7,4	482 $\pm$ 168	Richard (1993) - publication partielle
535	9090 $\pm$ 240	10240	56	9,9 $\pm$ 0,4	190 $\pm$ 14	Vincent (1973), McAndrews (1981)
452,5	8640 $\pm$ 160	9691	31	15,3 $\pm$ 6,4	377 $\pm$ 115	Richard et Larouche (1989)
312,5	8260 $\pm$ 450	9209	24	13,5 $\pm$ 5,5	556 $\pm$ 195	Richard (1993) - publication partielle
457,5	8740 $\pm$ 90	9761	34	15,0 $\pm$ 5,2	348 $\pm$ 90	Richard (1993) - publication partielle

Au total, 26 sites ont été retenus (tableau 1, figure 1). De ces sites, 10 appartiennent au sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc (SBb) de l'Ouest, 4 à celui de la pessière à mousses (PM) de l'Ouest, et 8 au domaine de la pessière à lichens (PL) (lat. 52°–54° N.). Quatre autres sites se trouvent à la frontière entre les sous-domaines de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et de la sapinière à bouleau jaune (SBj) de l'Ouest (lat. 47° N.). Les sites de la PL et de la PM appartiennent au biome de la forêt boréale, alors que ceux de la SBb et de la SBj appartiennent à celui de la forêt mixte. Les 26 sites retenus sont considérés comme représentatifs de l'ensemble de la région écologique à l'étude.

1.3 Climat des sites

Au Québec, d'un point de vue climatique, les sites du sous-domaine de la PM de l'Ouest se distinguent des sites de la SBb de l'Ouest principalement par des températures moyennes en janvier plus froides et un nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5) plus faible (PM : –19 °C et 1 032 degrés-jours; SBb : –17 °C et 1 174 degrés-jours; tableau 2). La température moyenne en

juillet et les précipitations annuelles totales (PANN) moyennes des sites de la PM et de la SBb de l'Ouest sont comparables. De même, ce sont les températures en janvier et les GDD5 qui distinguent le mieux la forêt boréale (PL et PM) de la forêt mixte (SBb et SBj). Prentice *et al.* (1992) ont d'ailleurs montré que ce sont ces 2 variables climatiques qui distinguent le mieux les biomes. Ils ont aussi précisé qu'un GDD5 supérieur à 1 200 degrés-jours et une température en janvier supérieure à –15 °C sont généralement nécessaires à une forêt mixte. Cependant, lorsqu'on tient compte de différentes variables explicatives et de leur intégration, par exemple le milieu physique et les perturbations naturelles en plus du climat, les 2 biomes se distinguent relativement bien (Grondin *et al.* 2007, MRN 2013, Saucier *et al.* 2009).

À l'échelle du territoire d'étude, le contraste climatique se situe plutôt entre l'est et l'ouest, plus particulièrement de part et d'autre de la longitude 75° O. Cette distinction climatique est principalement mise en évidence par les PANN, qui sont moins abondantes à l'ouest qu'à l'est de la longitude 75° O. (tableau 2, figure 2).

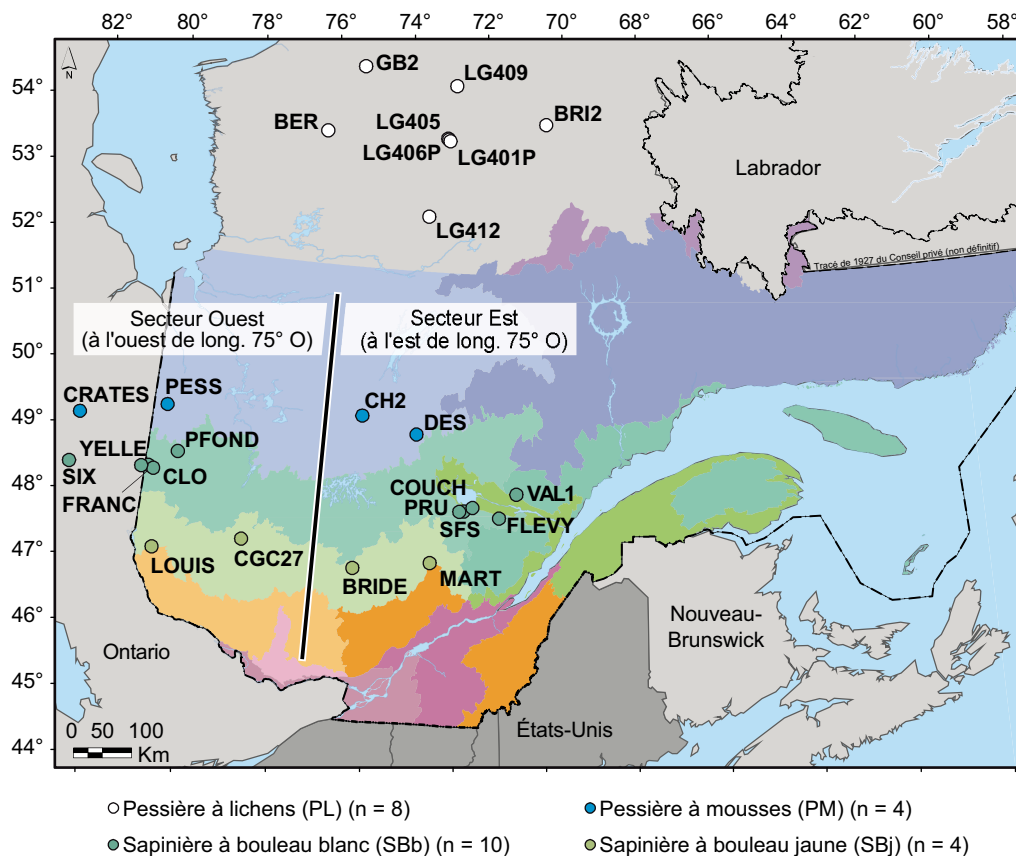


Figure 1. Carte de la répartition des 26 sites à l'étude à travers 4 domaines bioclimatiques du Québec méridional (Saucier *et al.* 2009). La ligne verticale sépare l'est et l'ouest du territoire (longitude : env. 75° O.).

Tableau 2. Climat actuel des sites des sous-domaines occidentaux de la pessière à mousses (PM), de la sapinière à bouleau blanc (SBb), de la pessière à lichens (PL) et de la sapinière à bouleau jaune (SBj). Pour la PM, la SBb et la SBj, le climat actuel des sites à l'ouest et à l'est de la longitude 75° O. est également livré. Les valeurs sont tirées de la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005).

Domaine bioclimatique / secteur	Nombre de sites	Température moyenne annuelle (°C)	Température moyenne en juillet (°C)	Température moyenne en janvier (°C)	GDD5* (degrés-jours)	PANN† (mm)	SJJA‡ (%)
PL	8	-4,8	12,1	-23,8	508	748	39,3
PM	4	-0,4	16,0	-19,1	1 032	950	47,5
Secteur Ouest	2	0,5	16,8	-18,7	1 165	857	49,8
Secteur Est	2	-1,3	15,3	-19,6	899	1 044	45,1
SBb	10	0,9	16,8	-17,2	1 174	974	47,8
Secteur Ouest	5	0,9	17,0	-17,7	1 200	887	49,3
Secteur Est	5	0,9	16,6	-16,7	1 148	1 061	46,3
SBj	4	2,3	17,7	-15,6	1 363	961	49,5
Secteur Ouest	2	1,9	17,4	-16,0	1 305	926	50,9
Secteur Est	2	2,7	18,1	-15,2	1 421	996	48,2

* GDD5 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C.

† PANN : précipitations annuelles totales (mm).

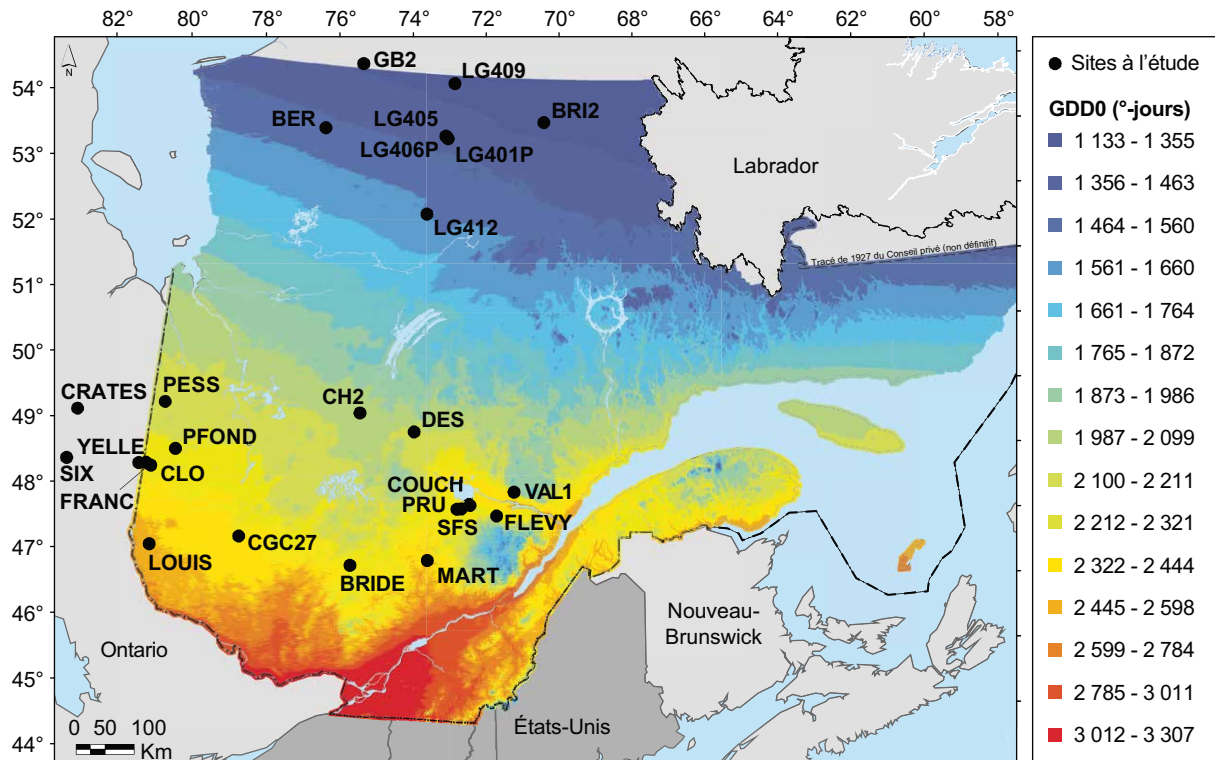
‡ SJJA : ensoleillement estival (juin-juillet-août, en % d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil).

1.4 Déglaciation des sites

L'âge de la déglaciation varie à travers le territoire (Dyke 2005). Dans les profils de sédiments lacustres, il est possible d'estimer l'âge minimal de la déglaciation d'un site en datant le début de la sédimentation. Pour la plupart des 26 sites, la date ¹⁴C basale a été obtenue sur les premiers centimètres de dépôts organiques (datations en vrac; voir la colonne « Transition minérale/organique » du tableau 1). Cette date livre donc un âge minimal imprécis de la déglaciation; la datation de macrorestes terricoles inclus dans les sédiments inorganiques silto-argileux sous-jacents permet généralement de mieux estimer l'âge minimal de la déglaciation.

À l'examen des dates basales, on constate que les sites au sud (lat. 47° N.), à la frontière entre les domaines de la SBb et la SBj, étaient libres de glace il y a plus de 11 000 ans, alors que ceux plus au nord (lat. 52°–54° N.), dans le domaine de la PL, ont connu une déglaciation beaucoup plus tardive, soit il y a seulement 7 000–6 000 ans. L'âge de la déglaciation des sites de la partie ouest de la SBb est différent de celui des sites plus à l'est. Ceux de la partie est ont été déglacés vers 11 500–9 000 ans AA, alors que ceux plus à l'ouest étaient déglacés, mais inondés par les eaux d'un grand lac proglaciaire, le lac Ojibway. La vidange finale de ce grand lac s'est produite vers 8 470 ans AA (Barber *et al.* 1999) et a laissé sur le terrain un important dépôt argileux qu'on a nommé la Grande Ceinture d'Argile (*Clay Belt*).

a) GDD0 (°-jours)



b) PANN (mm)

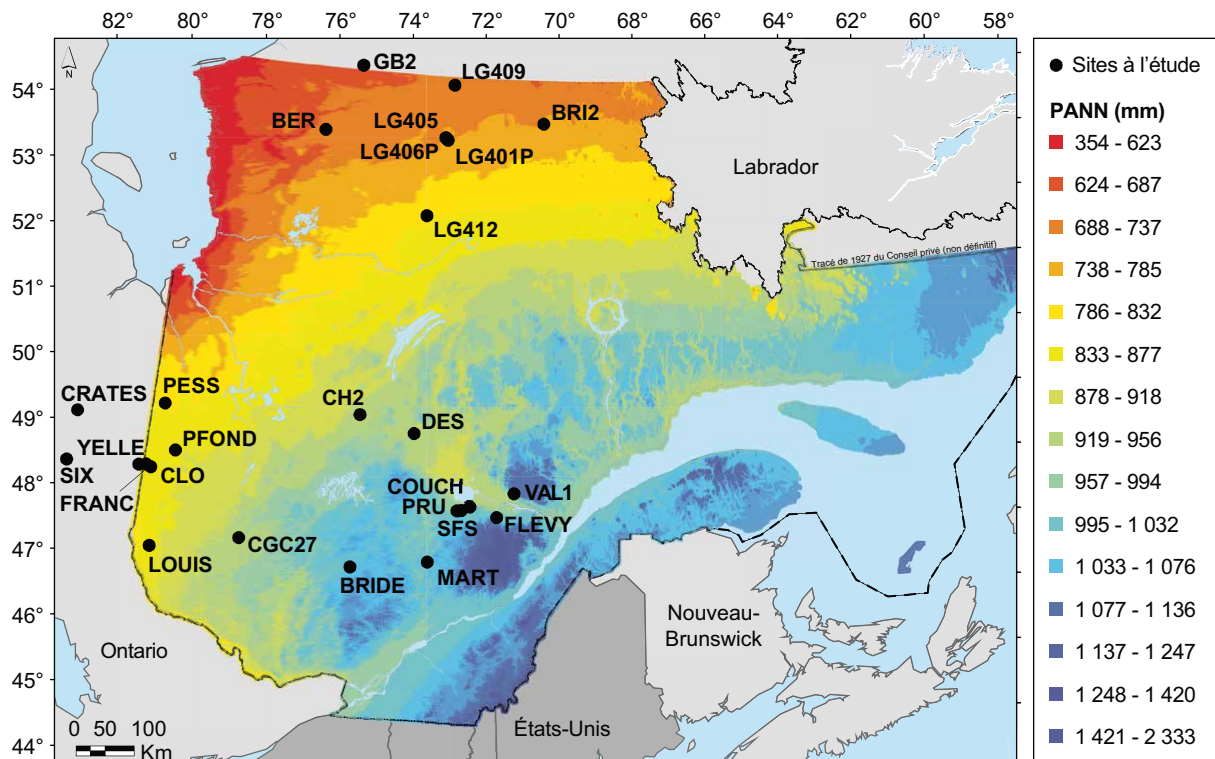


Figure 2. Gradient climatique du territoire d'étude : a) degrés-jours au-dessus de 0 °C (GDD0); b) précipitations annuelles totales (PANN). La version 8.3.8 du logiciel BioSIM a été utilisée (Régnière *et al.* 2004). La première base de données contient les normales climatiques (Canada-États-Unis, 1971-2000). La seconde base de données contient les variables climatiques quotidiennes de 1870-2006 des stations météorologiques du Québec.

Chapitre deux

Notions d'analyse pollinique

2.1 Concepts et approche

L'analyse pollinique est une méthode d'investigation biologique appliquée ici à la reconstitution de la végétation du passé. Elle s'appuie sur le phénomène de la dispersion des grains de pollen (plantes à fleurs) et des spores (fougères et lycopodes) pour la reproduction des végétaux. Produits très souvent en quantités énormes et largement dispersés par le vent, les grains de pollen et les spores se conservent indéfiniment, bien qu'à des degrés divers, dans des milieux appropriés (lacs, tourbières, etc.). Leur morphologie variée (taille, forme, ornements de la surface, ouvertures en forme de pores ou de sillons, etc.) permet d'identifier la plante productrice au niveau de la famille, du genre et, souvent, de l'espèce. C'est le cas des arbres dans nos régions.

L'analyse pollinique consiste essentiellement à identifier et à dénombrer, au microscope, un nombre représentatif de grains de pollen et de spores présents dans un échantillon de sédiment. On détermine ainsi le **spectre pollinique** de l'échantillon, c.-à-d. le pourcentage de chaque taxon pollinique présent dans l'échantillon. Les spectres polliniques obtenus à chacun des niveaux successifs d'une série verticale (donc temporelle) d'échantillons d'un sédiment lacustre, tourbeux ou autre constituent le **diagramme pollinique** du site d'échantillonnage. La datation au radiocarbone (^{14}C) des sédiments permet d'établir la chronologie de la série verticale d'échantillons.

Le diagramme pollinique d'un site 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 d'une série verticale est généralement segmenté en **zones d'assemblage pollinique (ZAP)**, c.-à-d. une suite d'assemblages polliniques contigus et comparables. La subdivision d'un diagramme pollinique en ZAP permet d'analyser la structure du diagramme. L'ensemble des ZAP de la séquence sédimentaire d'un site simplifie sa palynostratigraphie.

Un diagramme pollinique complet, provenant d'une colonne sédimentaire complète, c.-à-d. non tronquée à la base ni au sommet et dépourvue de

hiatus, livre une séquence continue des émissions polliniques produites par la végétation environnante (et plus lointaine) d'un site dont les retombées au sol ou sur l'eau se sont accumulées depuis le début de la sédimentation postglaciaire, c.-à-d. depuis le départ des grandes calottes glaciaires, il y a plus de 10 000 ans, jusqu'à la période actuelle.

L'analyse pollinique est en quelque sorte une méthode de « télédétection » de la végétation qui permet d'en explorer l'histoire à l'échelle des temps géologiques par le truchement de sa représentation pollinique. De la même manière que les rayonnements électromagnétiques (dans les domaines de l'infrarouge, du visible ou des micro-ondes) émis ou réfléchis par la végétation actuelle permettent d'en obtenir une représentation (images infrarouges, en noir et blanc, en couleurs, etc.), les spectres polliniques de la végétation actuelle livrent une **représentation pollinique** qui, contrairement aux autres représentations, permet d'en suivre la dynamique dans le temps grâce aux assemblages polliniques anciens préservés dans les sédiments. Mais comme pour le tableau du peintre surréaliste Magritte intitulé *La trahison des images*, la représentation de la végétation, quelle qu'elle soit, n'est pas la végétation : « Ceci n'est pas une pipe ».

2.1.1 Représentation pollinique des plantes

L'abondance d'un taxon pollinique, représentée par un pourcentage élevé ou faible, correspond rarement à l'abondance ou à la rareté des individus de l'espèce émettrice dans le paysage forestier, notamment parce que la production de grains de pollen et leur capacité de dispersion diffèrent d'une espèce à l'autre. La différence observée entre l'abondance d'un taxon pollinique dans un spectre de surface et l'abondance des plantes qui y correspondent dans la végétation définit la représentation pollinique du taxon. Par exemple, l'abondance du sapin baumier dans la végétation est **sous-représentée** par son pourcentage dans un spectre pollinique : un pourcentage de pollen d'*Abies balsamea* aussi faible que 2 % témoigne généralement de la présence du sapin dans les environs du site. À l'inverse, le pin blanc (*Pinus strobus* L.) est une espèce **surreprésentée** par son pollen : un pourcentage de pollen de 20 % ne témoigne pas nécessairement de la présence de l'espèce dans la végétation régionale.

En effet, le pin blanc est un prolifique producteur de pollen, et les grains observés dans un spectre pollinique peuvent provenir de populations lointaines. Tous les cas de figure sont rencontrés, tant pour les arbres et les arbustes que pour les plantes herbacées.

2.1.2 Flux pollinique (ou provenance du pollen)

L'ensemble des grains de pollen contenus dans un échantillon d'une séquence sédimentaire ou d'un échantillon de surface résulte d'un mélange d'apports polliniques de sources diverses : locale, régionale et lointaine (Janssen 1973) (figure 3a). Le **pollen de source locale** est celui produit par les plantes entourant le site (dans le cas d'un lac) ou sur le site même (dans le cas d'une tourbière, d'un humus ou d'un bournier). Sa distance de transport est généralement très courte. Le pourcentage de représentation des taxons locaux est souvent propre au site en question, et donc irrégulier d'un endroit à l'autre au sein d'une même région. Le **pollen de source régionale** provient principalement du bassin versant du lac ou de la tourbière. Il est transporté en hauteur par les forts courants d'air, souvent associés aux orages, où il est homogénéisé avant d'être déposé au sol, sur le lac ou sur la tourbière par la gravité, la pluie ou un autre mécanisme. Ce sont les taxons représentatifs du domaine ou de la formation végétale (toundra, pessière, sapinière, etc.) auquel appartient le site. Le **pollen de source lointaine** (ou exotique) provient de l'extérieur du bassin versant du milieu de dépôt. Ces grains ont été transportés sur de longues distances dans la masse d'air atmosphérique, au-dessus des nuages.

2.2 Précisions terminologiques

La plupart des termes décrits ci-dessous sont illustrés à la figure 3b.

Taxon pollinique (ou palynotaxon) : C'est le nom sous lequel le grain de pollen est identifié par le pollenanalyste. Certains grains de pollen ne peuvent généralement être identifiés qu'au niveau de la famille ou du genre, en raison de leur morphologie pollinique peu diversifiée; c'est le cas des Poacées (Poaceae), des Cypéracées (Cyperaceae), ou des bouleaux (*Betula* sp.). Par ailleurs, selon la qualité de préservation des grains ou encore l'expérience de l'analyste, les grains de pollen produits par les individus d'une même espèce et présents dans un échantillon peuvent avoir été identifiés au niveau de la famille, du genre ou de l'espèce. Prenons le cas d'un grain de pollen provenant d'une épinette noire; lors du dénombrement des grains au microscope, le pollenanalyste peut avoir identifié ce grain sous l'un des trois termes suivants : a) *Pinaceae*, b) *Picea* ou

c) *Picea mariana*. En outre, si seulement une partie du grain est observée, celui-ci sera alors identifié comme d) un fragment de *Picea*. Ces quatre termes correspondent chacun à un taxon pollinique.

Somme pollinique (SP) d'un échantillon : C'est le nombre total de grains de pollen dénombrés par le pollenanalyste dans l'échantillon. Cette somme sert de base pour le calcul des pourcentages de chaque taxon du spectre pollinique de l'échantillon. Elle comprend le pollen des arbres, des arbustes et des herbes, mais exclut les spores de mousses, de ptéridophytes et de plantes aquatiques. En général, on vise idéalement une somme pollinique de plus de 500 grains par échantillon.

Concentration pollinique (CP) d'un échantillon : Cette quantité représente le nombre total de grains de pollen par centimètre cube de sédiment ($\text{grains}\cdot\text{cm}^{-3}$) ou par gramme de sédiment ($\text{grains}\cdot\text{g}^{-1}$). La valeur de la CP est toutefois en partie tributaire du nombre d'années requis pour la sédimentation d'un centimètre de matériel.

Taux d'accumulation sédimentaire (TAS) : La datation des sédiments au radiocarbone (^{14}C) permet d'estimer le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la séquence verticale. Le TAS s'exprime en $\text{cm}\cdot\text{an}^{-1}$.

Taux d'accumulation pollinique (TAP ou influx pollinique) d'un échantillon : Le TAP total d'un échantillon rend compte de la quantité de grains de pollen émis dans l'atmosphère par l'ensemble des plantes à une époque donnée et déposés au fond des lacs. Le TAP représente le nombre de grains de pollen accumulés sur une surface sédimentaire de 1 cm^2 au cours d'une année ($\text{grains}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$). Il peut être calculé pour l'échantillon entier, c.-à-d. pour l'assemblage pollinique (TAP total du sédiment), ou pour un taxon pollinique en particulier, comme *Picea* et *Abies* (TAP de *Picea* et TAP d'*Abies*). On le calcule en divisant la CP du sédiment par le nombre d'années compris dans le cm^3 de sédiment, ou encore en multipliant la CP par le TAS. Le TAP nous renseigne sur la densité de la végétation (ou l'abondance d'une espèce) au cours d'une période donnée.

Contrairement à la CP, le TAP tient compte du nombre d'années requis pour la sédimentation d'un centimètre de matériel. Les courbes du TAP d'un taxon permettent de suivre les changements dans le temps de l'abondance des populations végétales, indépendamment de ceux des autres taxons, ce que ne permet pas toujours l'examen des courbes polliniques exprimées en pourcentages. Il s'agit d'un grand avantage.

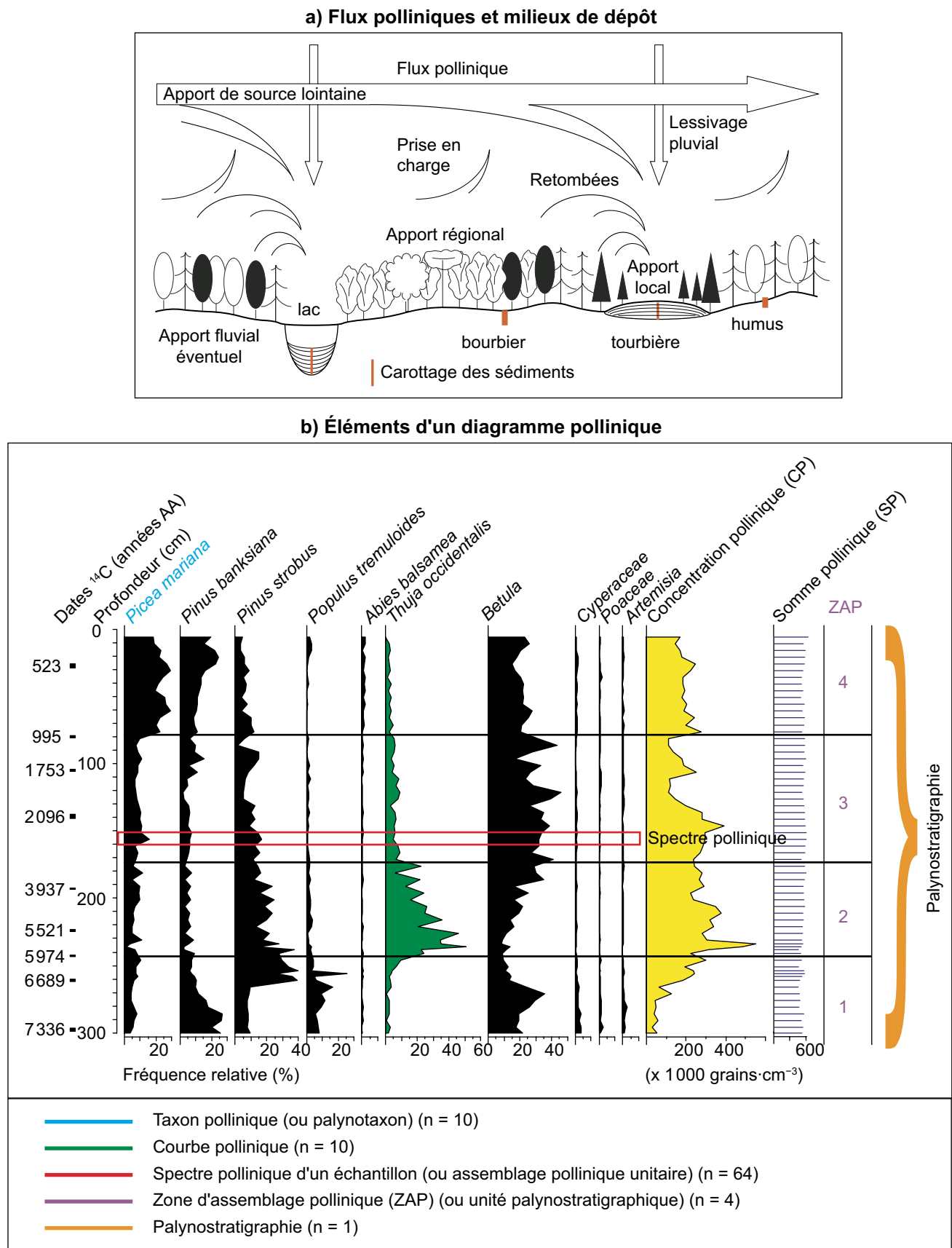


Figure 3. Notions d'analyse pollinique : a) flux polliniques et milieux de dépôts (figure tirée de Richard et Grondin 2009, reproduite avec permission); b) éléments d'un diagramme pollinique (à titre d'exemple, le diagramme simplifié du lac Francis). Le diagramme pollinique livre la représentation pollinique de la végétation postglaciaire.

Courbe pollinique des taxons d'un site : La courbe pollinique d'un taxon nous renseigne sur les changements de la fréquence relative (%) ou absolue (TAP) d'un taxon le long de la séquence sédimentaire verticale. Si la courbe pollinique d'un taxon répertorié à plusieurs sites est reportée selon une échelle temporelle, il devient possible de comparer les courbes polliniques des différents sites et de souligner le synchronisme ou l'asynchronisme de la dynamique postglaciaire des taxons polliniques à travers un territoire.

Spectre pollinique d'un échantillon (ou assemblage pollinique unitaire) : Il s'agit de l'ensemble des grains de pollen d'un échantillon, dans lequel l'abondance de chaque taxon pollinique est exprimée en pourcentage. Le spectre pollinique d'un échantillon est le reflet de la pluie pollinique émise par la végétation d'une époque donnée dans la région entourant le milieu de dépôt. Il correspond à un assemblage pollinique unitaire, et livre les résultats de l'analyse pollinique d'un seul échantillon. Dans une séquence temporelle, les différents assemblages polliniques unitaires successifs sont regroupés selon leur ressemblance et décrits comme des zones d'assemblage pollinique (ZAP – voir ci-dessous). Dans l'espace, et à une époque donnée, les différents groupes d'assemblages polliniques unitaires comparables constituent plutôt des provinces polliniques (voir ci-dessous).

Diagramme pollinique d'un site : C'est un schéma représentant graphiquement les résultats de l'analyse pollinique. Il illustre l'ensemble des spectres polliniques d'une série verticale et couvre ainsi une certaine période des temps géologiques. Les courbes polliniques livrent l'histoire des variations d'abondance des taxons polliniques et, par ricochet, l'histoire des populations des espèces végétales dans le temps. Un diagramme pollinique complet, non tronqué à la base ni au sommet et dépourvu de hiatus, livre une séquence continue des assemblages polliniques produits par la végétation environnante (et plus lointaine) qui se sont accumulés depuis le début de la sédimentation postglaciaire jusqu'à la période actuelle. Un diagramme pollinique peut aussi illustrer l'assemblage pollinique type d'une végétation ou encore l'assemblage pollinique moyen d'une période donnée.

Zone d'assemblage pollinique (ZAP) d'une série verticale (ou unité palynostratigraphique) : Une ZAP comprend plusieurs spectres (ou assemblages polliniques unitaires) consécutifs d'une

série verticale d'échantillons dont la composition (en %) est semblable, et différente de celle des assemblages des autres ZAP. Chaque ZAP désigne donc une suite d'assemblages polliniques contigus et comparables dans une séquence temporelle. Cushing (1964, p. 1, cité dans Birks et Gordon 1985) la définit comme « *a body of sediment distinguished from adjacent sediment bodies by differences in kind and amount of its contained fossil pollen grains and spores, which were derived from plants existing at the time of deposition of the sediment* »¹. Les ZAP sont délimitées visuellement ou de façon automatisée. Elles sont nommées en tenant compte de l'ordre d'abondance des taxons dominants (c.-à-d. les plus abondants) dans les assemblages polliniques.

Palynostratigraphie d'un site : C'est l'ensemble des spectres polliniques successifs dans la séquence sédimentaire d'un site, et, par ricochet, des ZAP. À l'échelle de la période postglaciaire, la palynostratigraphie d'un site reflète les changements dans les assemblages polliniques unitaires survenus dans le temps. En ce sens, elle témoigne des changements de végétation à proximité du site depuis la déglaciation. La comparaison de la palynostratigraphie de plusieurs sites reportée selon une échelle temporelle permet l'identification de ZAP communes à l'ensemble des sites, à une période donnée.

Province pollinique d'une région : La comparaison des palynostratigraphies des sites d'une même région permet d'identifier les provinces polliniques, c.-à-d. les ZAP communes à l'ensemble des sites d'un territoire, à une époque donnée. Le nom des provinces polliniques tient compte de quelques **taxons clés** (c.-à-d. les taxons caractérisant le mieux la province) dont le pourcentage est généralement maximal à l'époque couverte par la province en question.

Représentation pollinique de la végétation actuelle : Le spectre pollinique d'un échantillon de surface permet d'étudier la représentation pollinique actuelle de la végétation et de décrire l'assemblage pollinique type (moyen) des différentes végétations présentes sur un territoire. La description des assemblages de la végétation tient généralement compte de quelques **taxons indicateurs** (c.-à-d. les taxons guides des domaines bioclimatiques, par exemple *Picea*, *Abies*, *Acer* et *Alnus crispa*, qui ne sont pas nécessairement les plus abondants en pourcentage. L'étude de la représentation pollinique

¹ [Traduction] : ...un corps de sédiment qui se distingue des corps adjacents de sédiments par la nature et la quantité des grains de pollen et de spores fossilisés qu'il contient, dérivés des plantes présentes dans la région au moment de la sédimentation.

de la végétation actuelle est essentielle à la reconstitution de la végétation postglaciaire.

Végétation postglaciaire d'un site ou d'une région : La succession des assemblages polliniques le long d'une série verticale représente la séquence temporelle de la végétation d'un passé de plus en plus lointain avec la profondeur, c.-à-d. la végétation postglaciaire. La composition de la végétation qui a produit les assemblages anciens peut être déduite par comparaison avec l'assemblage

pollinique d'échantillons de surface pour lesquels on connaît la végétation. Partout où c'était possible, Richard (1977) a proposé les trois grandes phases successives de végétation suivantes à l'échelle de la période postglaciaire : **la phase non arboréenne**, **la phase d'afforestation** et enfin, **la phase forestière**. Dans le cadre du présent mémoire, chaque province pollinique marque une période de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec, dont nous décrivons les trois principales phases.

Chapitre trois

Méthodologie

L'interprétation d'un assemblage pollinique fossile (ou postglaciaire), que ce soit sur le plan de la végétation ou du climat, est généralement faite par comparaison avec l'actuel. Nous avons comparé l'assemblage pollinique postglaciaire à différents assemblages polliniques récents, et transposé l'environnement (végétation et climat) associé au meilleur assemblage récent (**assemblage analogue moderne**) à l'assemblage postglaciaire. À cette fin, deux bases de données ont été mises à contribution. La première comporte 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**). Dans cette recherche, nous avons opté pour des comparaisons numériques entre les assemblages polliniques modernes et les assemblages polliniques postglaciaires. Lors de l'interprétation des assemblages polliniques postglaciaires, nous tiendrons compte des principes établis par Richard (1977), notamment pour les assemblages polliniques initiaux.

La **base de données modernes** comprend 1010 assemblages polliniques de surface de différents dépôts organiques (lacs, tourbières, coussinets de mousses, etc.). Les 1010 sites de la base de données modernes sont répartis à travers la toundra forestière, la forêt boréale et la forêt mixte de l'est du Canada. Le climat actuel des 1010 sites est connu (Whitmore *et al.* 2005), et la végétation à proximité des sites a été estimée à l'échelle du domaine bioclimatique. La **base de données postglaciaires** comprend les assemblages polliniques postglaciaires de 26 sites (lacs) répartis à travers les domaines bioclimatiques de la pessière à lichens (PL), de la pessière à mousses (PM), de la sapinière à bouleau blanc (SBb) et de la sapinière à bouleau jaune (SBj) de l'ouest du Québec.

Le cheminement de l'analyse des deux bases de données est résumé à la figure 4. Pour accompagner tout le texte de ce chapitre, les résultats du lac Francis (SBb, lat. 48° 31' N., long. 79° 28' O.) sont donnés en exemple pour illustrer les 4 étapes de la méthodologie (figures 5 à 8).

Étape 1 : Analyse des données polliniques et climatiques modernes des 1010 sites de l'est du Canada. L'analyse de l'assemblage pollinique

moderne (de surface), du climat et de la végétation des 1010 sites de la base de données modernes permet :

- d'étalonner les liens entre le pollen et la végétation qui le produit, et entre le pollen et le climat;
- de définir l'assemblage pollinique type à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec;
- de reconstituer le climat et la végétation des 26 sites postglaciaires avec la méthode des analogues modernes.

La méthodologie de l'analyse des données modernes est discutée à la section 3.1, et les résultats sont présentés à la section 4.1.

Étape 2 : Analyse des données polliniques postglaciaires des 26 sites de l'ouest Québec.

Les résultats chronologiques et polliniques des 26 sites de la base de données postglaciaires ont été analysés dans le but :

- d'établir la chronologie des sédiments postglaciaires des sites;
- de segmenter les 26 diagrammes polliniques en zones d'assemblage pollinique (ZAP) et ainsi de définir numériquement la palynostratigraphie postglaciaire des sites;
- de calculer le taux d'accumulation pollinique (TAP) total des sédiments et ainsi d'estimer la densité de la végétation postglaciaire;
- de reconstituer la végétation et le climat postglaciaires des 26 sites de l'ouest du Québec.

La méthodologie de l'analyse des données postglaciaires et des reconstitutions est discutée à la section 3.2, et les résultats sont présentés à la section 4.2.

Étape 3 : Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle de la palynostratigraphie des 8 secteurs et des provinces polliniques de l'ouest du Québec. Les données polliniques des 26 sites ont été synthétisées afin d'étudier la dynamique spatiotemporelle de la végétation postglaciaire à l'échelle du domaine bioclimatique (PL, PM, SBb, SBj) et de dresser le portrait de la végétation de l'ouest du Québec depuis la déglaciation. Cette synthèse des données postglaciaires des 26 sites a tout d'abord été faite à l'échelle des

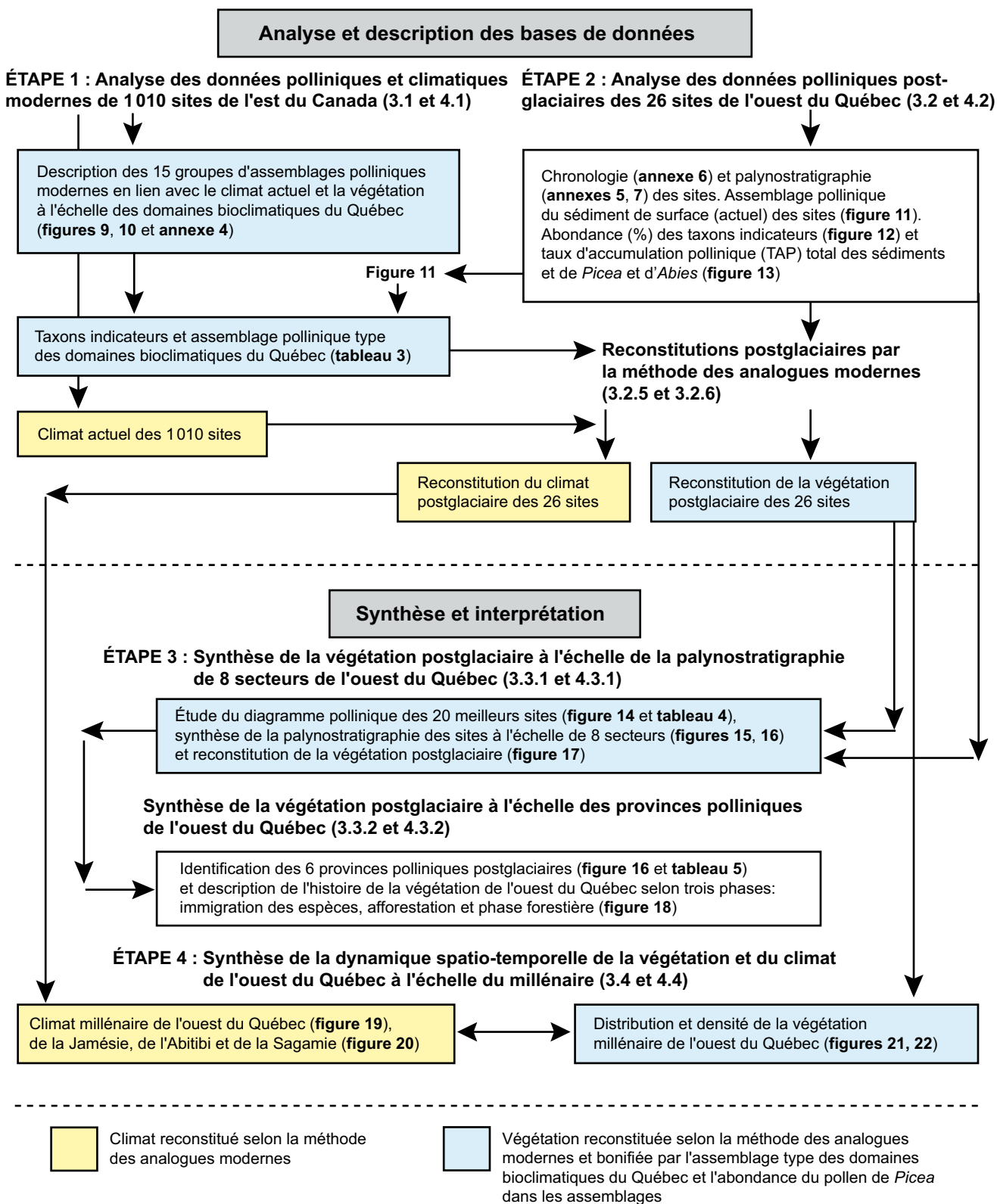


Figure 4. Organigramme du cheminement méthodologique. Les numéros des sections où sont présentés les méthodes et les résultats sont indiqués entre parenthèses à la suite du titre des étapes.

Exemple du lac Francis : Chronologie des sédiments

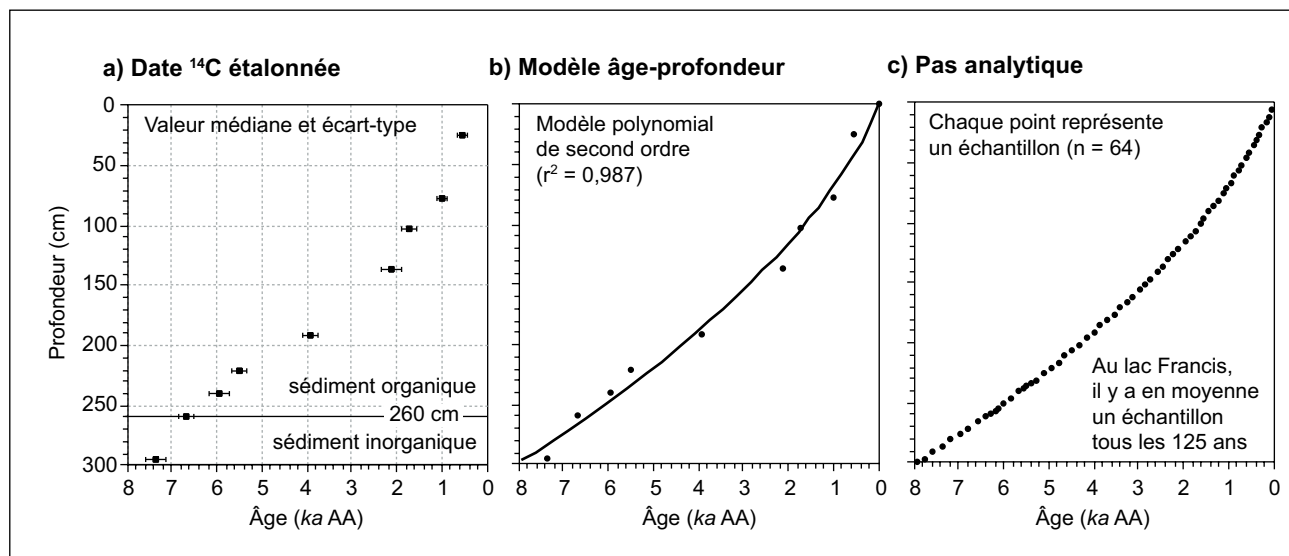


Figure 5. Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis : chronologie des sédiments en années avant aujourd'hui (AA) en fonction de la profondeur. a) Dates radiocarbones étalonnées. La ligne horizontale marque la position dans la colonne sédimentaire de la transition entre le sédiment inorganique et le sédiment organique. b) Courbe de l'âge des sédiments. c) Pas analytique des échantillons. Dans cet exemple, l'espacement moyen entre les échantillons est de 125 ans.

ZAP de 8 secteurs (4 domaines bioclimatiques [PL, PM, SBb, SBj] subdivisés en secteurs Est et Ouest pour la PM, SBb et la SBj, et en secteurs Nord et Sud pour la PL), puis à l'échelle des provinces polliniques de l'ouest du Québec.

Pour la **synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle de la palynostratigraphie des 8 secteurs**, les données polliniques de 20 sites parmi les 26 de l'étape 2 ont été retenues. Nous avons comparé les ZAP des 20 diagrammes polliniques et résumé les palynostratigraphies correspondantes à l'échelle des 8 secteurs. Les 8 palynostratigraphies des secteurs ont été décrites, et la végétation postglaciaire des 8 secteurs a été reconstituée à l'échelle des ZAP. Le TAP moyen des 8 secteurs a également été calculé afin d'estimer la densité du couvert forestier associé 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 3.3.1, et les résultats sont présentés à la section 4.3.1.

Pour la **synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle des provinces polliniques de l'ouest du Québec**, nous avons comparé les 8 palynostratigraphies afin de déterminer quelles ZAP sont communes aux 8 secteurs à une époque donnée. Chacune de celles-ci définit une province pollinique postglaciaire du territoire d'étude. Finalement, 6 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'ouest du Québec. La méthodologie de la synthèse des données par province pollinique à l'échelle de l'ouest du Québec est discutée à la section 3.3.2, et les résultats sont présentés à la section 4.3.2.

Étape 4 : Synthèse de la dynamique spatio-temporelle de la végétation et du climat de l'ouest du Québec à l'échelle du millénaire. Cette synthèse a permis de mettre en lien l'histoire de la végétation postglaciaire de l'ouest du Québec avec le climat. Un résumé de l'information par millénaire est une procédure communément appliquée dans le cadre de synthèses paléoenvironnementales (p. ex. Carcaillet et Richard 2000, Dyke 2005). Les données polliniques et climatiques des 26 sites (étape 2) ont été résumées par tranches de 1000 ans d'accumulation sédimentaire. Tout d'abord, les données climatiques millénaires des 26 sites de l'ouest du Québec ont permis d'étudier les changements du climat millénaire de l'ouest du Québec, puis de vérifier le régionalisme du climat à travers le territoire. Ensuite, les données polliniques millénaires des 26 sites de l'ouest du Québec 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

Exemple du lac Francis : Palynostratigraphie et reconstitution climatique des sédiments

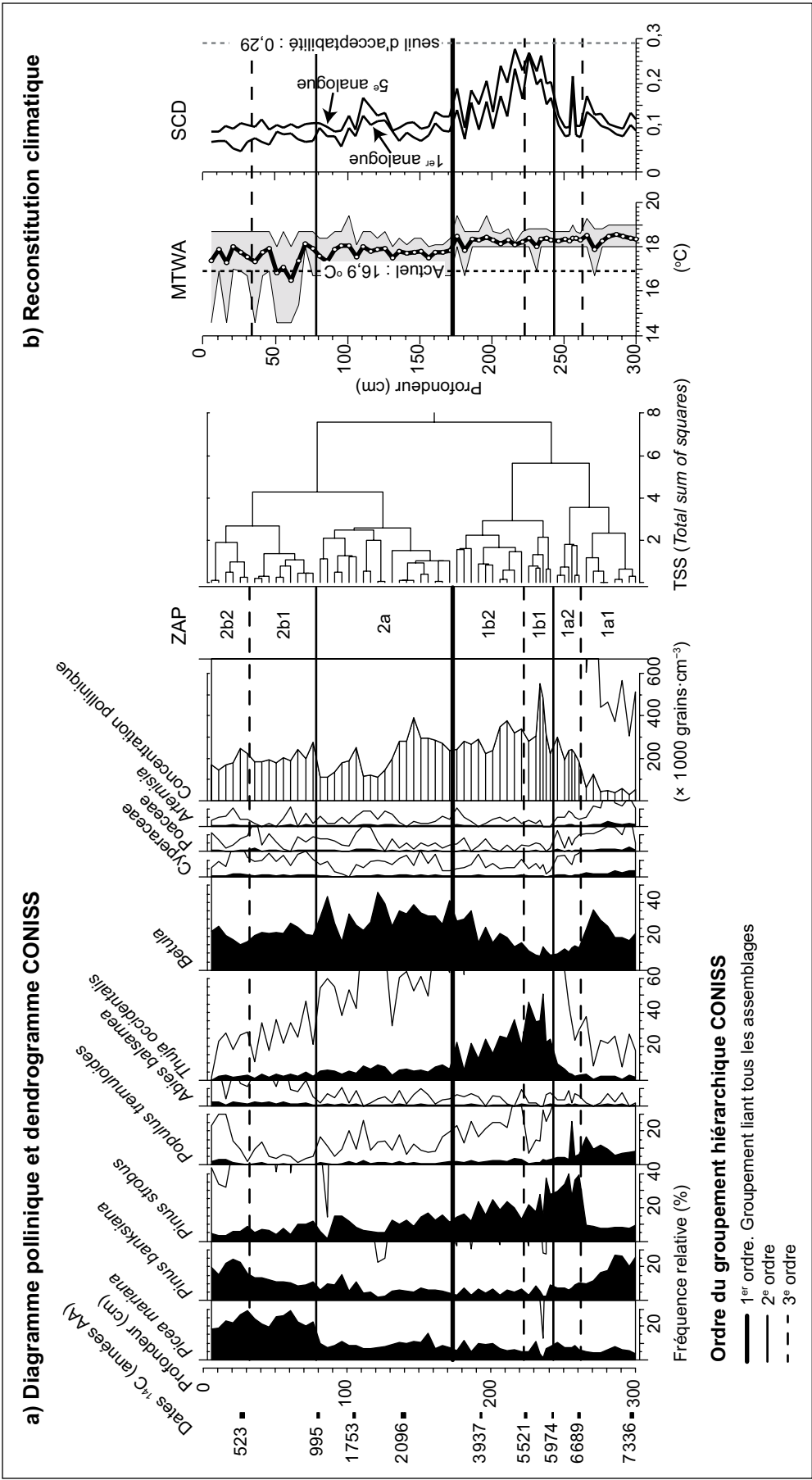


Figure 6. Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis (suite) : palynostratigraphie et reconstitution climatique des sédiments en fonction de la profondeur. a) Diagramme pollinique et dendrogramme CONISS utilisé pour la zonation. Les courbes non remplies représentent une exagération des pourcentages (10x). Le nom des zones d'assemblage pollinique (ZAP) tient compte de l'ordre du groupement. L'intensité du groupement est livrée par la valeur de la TSS (somme des carrés des écarts à la moyenne, valeur sans unité). b) Reconstitution climatique : température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) et mesure de sécheresse au carré (SCD). La MTWA reconstituée (courbe en trait gras) est basée sur la MTWA des 5 analogues modernes, pondérée par leur dissimilarité (SCD) avec l'assemblage fossile. La zone grisée de part et d'autre de la courbe reconstituée est délimitée par les valeurs minimale et maximale parmi les 5 analogues modernes retenus. La ligne pointillée verticale correspond à la valeur actuelle de la MTWA au site. Les courbes de la SCD illustrent la dissimilarité entre l'assemblage fossile et le 1^{er} (meilleur) et le 5^e (dernier) analogue moderne.

part, à estimer sa densité. Au final, les résultats millénaires des 26 sites ont complété les résultats postglaciaires des 8 secteurs (étape 3) et permis de préciser la dynamique spatiotemporelle de la végétation de l'ouest du Québec depuis la déglaciation, mais cette fois-ci en lien avec le climat. La méthodologie de la synthèse des données par millénaires est discutée à la section 3.4, et les résultats du climat et de la végétation millénaires sont présentés à la section 4.4.

Le présent travail repose sur une variété de traitements numériques appliqués aux données polliniques modernes et postglaciaires, exprimées en pourcentages. Pour tous les traitements, 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. Cette transformation augmente l'importance des taxons sous-représentés par leur pollen et réduit l'importance des taxons surreprésentés.

Le nombre de données chronologiques disponibles par site est relativement faible, et les modèles chronologiques construits ne sont pas parfaits. Les dates au radiocarbone (^{14}C) à la base des modèles chronologiques ont bien souvent été obtenues sur du sédiment en vrac d'une épaisseur considérable. Par ailleurs, le pas analytique des sites est souvent important. 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'expriment en siècles pour l'ensemble du territoire d'étude. En conséquence, nous croyons que notre interprétation des résultats, qu'elle soit basée sur le résumé des ZAP des 8 secteurs ou encore sur le résumé de l'information pollinique et climatique par millénaire, est 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 polliniques enregistrés dans les sédiments. À la lecture du texte, il sera toutefois important de garder en mémoire que les résultats présentés témoignent principalement de l'évolution millénaire du climat et de la végétation de l'ouest du Québec. Cette échelle de temps est différente de celle à laquelle travaillent les professionnels forestiers, qui s'intéressent davantage aux changements des paysages forestiers à l'échelle de la décennie ou encore du siècle.

Cette étude repose sur un concept majeur de la paléoécologie, à savoir celui des plus proches

analogues, pour décrire et expliquer les modifications millénaires du couvert végétal. Toutefois, le forestier doit garder à l'esprit que le couvert actuel ne comporte pas tous les types de végétations ayant pu exister dans le passé récent, celui de l'Holocène, et que le plus proche analogue statistique n'est pas assurément l'analogue réel du présent.

3.1 Analyse des données polliniques et climatiques modernes de l'est du Canada (1 010 sites)

L'analyse des données modernes des 1 010 sites de l'est du Canada a permis d'étalonner les liens entre un assemblage pollinique, la végétation et le climat d'un site (étape 1). Les travaux de Richard (p. ex. 1976, 1977) ont exploré ces liens dans le contexte québécois, à l'échelle des grands domaines de végétation du sud du Québec (Grandtner 1966), mais sans utiliser de méthodes quantitatives. Le professeur James C. Ritchie a aussi utilisé une procédure qualitative semblable à l'échelle du Canada (Ritchie 1987). L'étude de ces liens est essentielle à la reconstitution de la végétation et du climat postglaciaires d'un site à partir d'un assemblage pollinique. En effet, si les liens sont de bonne qualité et ainsi confirmés, il est justifié de reconstituer le climat et la végétation postglaciaires des sous-domaines bioclimatiques de l'ouest du Québec d'après les assemblages polliniques des 26 sites.

Les 1 010 assemblages polliniques de la base de données modernes ont donc été comparés les uns avec les autres et regroupés selon leur ressemblance, et 15 groupes d'assemblages polliniques ont été créés. La végétation actuelle, l'assemblage pollinique type ainsi que le climat moyen associés aux 15 groupes d'assemblages polliniques ont ensuite été décrits.

3.1.1 Description de la base de données

La base de données modernes comprend 1 010 sites, tous à l'est de 100° de longitude O. et au nord de 44° de latitude N. (annexe 2). Les sites sont essentiellement dans l'est du Canada, mais certains se trouvent aux États-Unis (bande de latitude de 44° à 45° N.). De par leur situation géographique, les 1 010 sites modernes de l'est du Canada sont tout à fait appropriés pour reconstituer le climat et la végétation des sous-domaines bioclimatiques des pessières (PL, PM) et des sapinières (SBb, SBj) de l'ouest du Québec.

La base de données modernes comprend 52 taxons polliniques et 70 variables climatiques et bioclimatiques. Plus précisément, elle comprend

■ Analogue avec $SCD > 0,20$ (seuil : 0,29)
 ■ Le ou les groupes K-means dominants
 ■ Seulement 2 analogues modernes
 ■ Autres groupes avec des analogues

Figure 7. (suite et fin)

Exemple du lac Francis : Résumé des résultats polliniques et climatiques par tranche de 1000 ans de sédiment

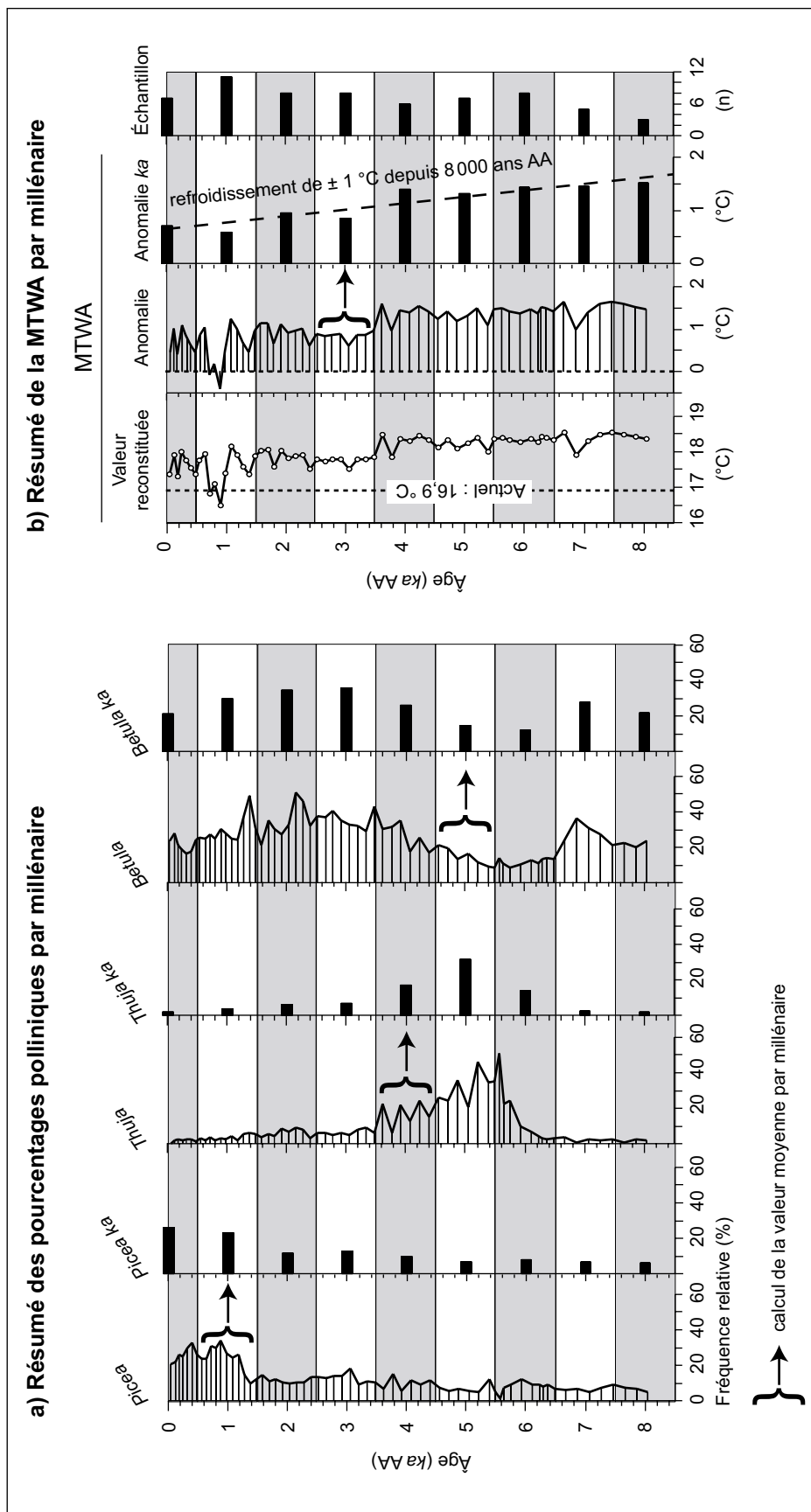


Figure 8. Illustration de la méthodologie à l'aide des données du lac Francis (suite) : résumé des résultats polliniques et climatiques par tranche de 1 000 ans de sédiments. a) Résumé des pourcentages polliniques par millénaire. Pour chaque tranche de 1 000 ans (ka) de sédiments, le pourcentage moyen des taxons (*Picea ka*, *Thuja ka* et *Betula ka*) a été calculé pour créer un assemblage pollinique millénaire. b) Résumé de la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA) par millénaire : de gauche à droite : valeur de la MTWA reconstituée, transcription de celle-ci en anomalie (différence) par rapport à l'actuel, et calcul de l'anomalie moyenne pour chaque tranche de 1 000 ans de sédiments. Au lac Francis, on observe un refroidissement continu du climat depuis 8 000 ans AA. Le graphique à l'extrême droite montre le nombre d'échantillons compris dans chaque tranche de 1 000 ans de sédiments (ici, moyenne de 7 échantillons par millénaire).

22 taxons arboréens, 12 taxons arbustifs et 18 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 52 taxons polliniques. Des précisions concernant le choix des 1010 sites et des 52 taxons de la base de données modernes sont offertes à l'annexe 1, et la liste complète de ceux-ci est présentée à l'annexe 3.

Les données polliniques et climatiques des 1010 sites sont tirées d'une mégabase de données nord-américaines compilée par Whitmore *et al.* (2005) (annexe 2). Elle est disponible sur le site Internet du Laboratoire de paléoclimatologie du Département de géographie de l'Université d'Ottawa² et régulièrement mise à jour. Actuellement, elle comprend 4833 sites répartis à travers les 10 biomes des États-Unis, du Canada et du Groenland, 134 taxons (pollen et spores) et 70 variables climatiques et bioclimatiques. Les données polliniques proviennent de différentes sources (publications, communications personnelles, etc.). Les données climatiques des 4833 sites ont été estimées par interpolation à partir des grilles climatiques du Climate Research Unit (CRU), sur la base des moyennes climatiques de 1961–1990 (New *et al.* 2002).

3.1.2 Classement des assemblages polliniques modernes

Les assemblages polliniques des 1010 sites ont été comparés les uns avec les autres et regroupés selon leur degré de ressemblance. La méthode de groupement utilisée porte le nom *K*-means et a d'abord été proposée par MacQueen (1967) (cité dans Legendre et Legendre 1998). Il s'agit d'une méthode de partition d'une population, ici 1010 assemblages polliniques modernes, cherchant à minimiser la somme des carrés des distances euclidiennes des assemblages polliniques par rapport au centroïde de leur groupe respectif. Le pourcentage des 52 taxons a été transformé par une racine carrée. Le groupement a été réalisé avec le programme *K*-means du Progiciel R (Casgrain et Legendre 2001).

Lors du premier partitionnement avec le programme *K*-means, la base de données de 1010 sites a été subdivisée en deux groupes : le groupe A pour les sites de la toundra forestière et de la forêt boréale, et le groupe B pour ceux de la forêt mixte et des prairies. Individuellement, chaque groupe a ensuite été soumis de nouveau au

programme *K*-means. Le groupe A a été subdivisé en 2 sous-groupes (Aa : toundra forestière; Ab : forêt boréale) et le groupe B, en 3 sous-groupes (Ba : prairies; Bb : forêt mixte de l'est [à l'est de long. $\approx 78^\circ$ O.]; Bc : forêt mixte de l'ouest [à l'ouest de long. $\approx 78^\circ$ O.]). Les sites des prairies font partie des sites à biome non spécifié de la base de données (voir les annexes 1 et 4). De nouveau, chaque groupe issu de l'étape précédente a été soumis individuellement au programme *K*-means. Après ce troisième exercice, la subdivision du groupe B en 8 sous-groupes était statistiquement acceptable alors que celle du groupe Aa demandait encore un peu de précision. Finalement, le groupe A a été subdivisé en 7 sous-groupes. En définitive, 15 groupes d'assemblages polliniques ont donc été créés, et le diagramme de l'assemblage pollinique des 1010 sites de la base de données modernes est livré au supplément 1. Notre cheminement de groupement est détaillé à l'annexe 4. Le climat moyen et l'assemblage pollinique moyen (virtuel) des 15 groupes finaux ont été calculés, de même que le pourcentage moyen des 52 taxons.

3.1.3 Détermination de la végétation associée aux assemblages polliniques modernes

La végétation à proximité des sites modernes a dû être déterminée, car cette information ne figurait pas dans la mégabase de données modernes de Whitmore *et al.* (2005). Cette information est essentielle à notre recherche, car elle fournit le contexte bioclimatique des sites modernes. Comme il aurait été fastidieux de déterminer la végétation présente autour de chacun des 1010 sites modernes, nous avons opté plutôt pour la végétation des 15 groupes de sites identifiés avec le programme *K*-means. La végétation des 15 groupes a été déterminée en comparant leur emplacement sur le territoire à des cartes de végétation tirées de Küchler (1964), Richard (1987), Fedorova *et al.* (1997) et des publications du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec, notamment Saucier *et al.* (2009).

3.1.4 Assemblage pollinique type à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec

Nous avons défini l'assemblage pollinique type (ou signature pollinique moyenne) de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec sur la base de (1) la description de l'assemblage pollinique des 15 groupes d'assemblages polliniques (groupes *K*-means) de la base de données modernes de l'est du Canada en lien avec la végétation et de (2) la composition de l'assemblage pollinique du sédiment de surface des 26 sites de

² <http://www.lpc.uottawa.ca/>

la base de données postglaciaires de l'ouest du Québec. Ces assemblages polliniques types nous guideront pour la reconstitution de la végétation des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec.

3.2 Analyse des données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec (26 sites)

L'analyse des données postglaciaires des 26 sites de l'ouest du Québec permettra (1) d'établir la chronologie des sédiments, (2) de décrire la palynostratigraphie des sites et (3) d'estimer le TAP des sédiments (étape 2). Le cadre chronologique des 26 sites est basé sur la datation au radiocarbone (^{14}C) des sédiments, étalonnée en années réelles AA afin de corriger les défauts de la chronologie ^{14}C brute (Richard 2007). L'expression des résultats selon une échelle temporelle au lieu d'une échelle de profondeur a l'avantage de faciliter la comparaison des données polliniques et climatiques entre les sites.

La palynostratigraphie des 26 sites de l'ouest du Québec repose sur la segmentation des diagrammes polliniques en ZAP. Celles-ci ont été établies numériquement à l'aide d'un dendrogramme.

Le climat et la végétation postglaciaires ont été reconstitués aux 26 sites de l'ouest du Québec à l'aide de la « méthode des analogues modernes », qui repose sur la comparaison entre l'assemblage pollinique des sédiments postglaciaires des sites et celui de sédiments actuels répartis un peu partout et pour lesquels on connaît le climat et la végétation. L'information actuelle (assemblage pollinique, climat et végétation) nécessaire aux reconstitutions est contenue dans la base de données modernes de l'est du Canada (1 010 sites).

L'histoire du climat postglaciaire des 26 sites a été reconstituée sur la base d'une synthèse des données climatiques des sites à l'échelle du millénaire pour l'ensemble de l'ouest du Québec (voir la section 3.4.1), puis par région (voir la section 3.4.2). De la même façon, l'histoire de la végétation postglaciaire des 26 sites de l'ouest du Québec a été reconstituée tout d'abord à l'échelle des ZAP des 8 secteurs (voir la section 3.3.1), puis à l'échelle du millénaire pour l'ensemble de l'ouest du Québec (voir la section 3.4.3).

3.2.1 Description de la base de données

La base de données postglaciaires comprend 26 sites (lacs) répartis du domaine bioclimatique de la pessière à lichens (lat. 54° N.) à celui de la sapinière à bouleau jaune (lat. 47° N.). Les

données polliniques postglaciaires des sites sont archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal. Nous les présentons sous la forme de diagrammes à l'annexe 5. Seuls 12 des 26 diagrammes polliniques étudiés sont formellement publiés (tableau 1). Les diagrammes de 5 sites ont été incorporés à des synthèses publiées, et ceux de 9 autres sites sont inédits. Ils ont tous été tracés avec le logiciel *TGView* 2.0.2³.

Les données polliniques sont exprimées en pourcentages. 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, de ptéridophytes et de plantes aquatiques. La concentration pollinique est un outil permettant d'estimer la densité de la végétation. La valeur de la concentration pollinique est toutefois tributaire du nombre d'années requis pour la sédimentation d'un centimètre de matériel. Nous utiliserons donc les taux nets d'accumulation pollinique (ou les influx polliniques) ($\text{grains} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$; voir la section 3.2.4).

Le nombre d'échantillons analysés par site pour leur contenu pollinique est variable. En moyenne, il y avait 37 échantillons par site, donc 37 assemblages polliniques postglaciaires, et un pas analytique moyen de 15 cm entre les échantillons (tableau 1). Le nombre de taxons sporopolliniques (pollen et spores) identifiés est aussi très variable d'un site à l'autre. En moyenne, il y avait 70 taxons sporopolliniques par site; le nombre moyen de taxons (μx) est plus faible parmi les sites des domaines de la pessière (PL et PM : $\mu x = 60$) que parmi ceux de la sapinière (SBb et SBj : $\mu x = 79$). Au total, 222 taxons ont été identifiés par les nombreux pollenanalystes, soit 52 taxons arboréens (y compris les bouleaux [$\mu x = 25$]), 42 taxons arbustifs ($\mu x = 13$), 64 taxons herbacés ($\mu x = 16$), 56 spores ($\mu x = 17$) de plantes aquatiques, mousses et ptéridophytes, et 8 algues (*Pediatrum*). Un si grand nombre de taxons s'explique, entre autres, par la précision de l'identification des grains et l'expérience des pollenanalystes. En effet, certains analystes ont poussé l'identification des grains observés au microscope jusqu'au niveau de l'espèce, alors que d'autres 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 3.

3.2.2 Chronologie des sites

L'âge des sédiments des 26 sites a été estimé à partir des dates au radiocarbone (^{14}C) des sédiments et de modèles chronologiques (modèles

³ Copyright 2004, Eric C. Grimm. Illinois State Museum, Research and Collections Center. 1011 East Ash Street. Springfield, IL 62703 (États-Unis). grimm@museum.state.il.us.

âge-profondeur). Les dates ^{14}C ont principalement été obtenues sur des sédiments en vrac et non sur des macrorestes végétaux (graines, aiguilles, etc.). La quantité de sédiments datés est parfois importante, allant jusqu'à 15–20 cm d'épaisseur, et cela peut ajouter une incertitude aux modèles chronologiques. Les âges ^{14}C conventionnels ont tous été transformés en âges étalonnés (exprimés en nombre d'années sidérales AA) avec le logiciel CALIB 6.04 et la base de données atmosphériques de l'hémisphère Nord IntCal09 (Reimer et al. 2009). Tous les âges discutés dans ce travail sont exprimés en années étalonnées AA. L'annexe 6 détaille les âges radiocarbone conventionnels ainsi que les dates étalonnées pour les 26 sites.

Nous avons construit les modèles âge-profondeur avec les âges étalonnés. Un âge de 0 a toujours été ajouté en surface (profondeur : 0 cm). Un modèle polynomial de second ordre a été utilisé pour estimer l'âge des sédiments de la majorité des sites. Dans certains cas où ce modèle ne convenait pas, une courbe polynomiale de troisième ordre a été générée. Certaines dates ont été exclues de la construction des modèles, notamment aux sites BRIDE, MART, SFS, CRATES et PESS. Aux sites CRATES (Liu, 1982) et PESS (Carcaillet et al. 2001), cet âge avait été jugé erroné et exclu par les auteurs. Au site BRIDE, nous avons exclu les dates UQ (voir l'annexe 6), car elles étaient problématiques. Aux sites MART et SFS, nous avons rejeté une date qui était bien à l'écart du modèle et d'un point de vue palynostratigraphique, « incompatible » avec celles des sites avoisinants. Les modèles âge-profondeur sont présentés au supplément 2 (disponible sur demande). Un exemple de construction d'un modèle âge-profondeur à partir de dates ^{14}C étalonnées est donné pour le lac Francis à la figure 5.

Dans l'ensemble, les sites présentent un assemblage pollinique tous les 350 ans environ (tableau 1, moyenne de la résolution des échantillons). Le site CH2 (Garralla et Gajewski 1992) possède un très dense échantillonnage temporel avec un assemblage pollinique environ tous les 90 ans ($n = 96$ échantillons), alors que le temps écoulé entre les échantillons au site PFOND (Carcaillet et al. 2001) est beaucoup plus important, avec un échantillon tous les 750 ans environ ($n = 14$ échantillons). Le pas analytique des données n'influence pas les résultats polliniques ou climatiques à proprement parler. Il limite toutefois la précision chronologique des ZAP aux sites où l'espacement (donc la durée) entre les échantillons est important.

3.2.3 Zones d'assemblage pollinique (ZAP) des sites

Les diagrammes polliniques des 26 sites ont été segmentés en ZAP, c.-à-d. en unités palynostratigraphiques, selon l'abondance (en pourcentage) des taxons. La subdivision d'une séquence pollinique en ZAP utilise la notion de rythme de changement le long de l'échelle temporelle de l'échantillonnage au sein des sédiments, et elle permet de simplifier la lecture des diagrammes polliniques. La segmentation d'un diagramme pollinique en ZAP n'est pas indispensable à son interprétation sur le plan de la végétation. Toutefois, les ZAP présentent l'avantage de résumer objectivement les résultats de l'analyse pollinique, ce qui évite la confusion entre les données et leur interprétation (Richard 1977).

La segmentation des 26 diagrammes en ZAP a été établie à l'aide d'un dendrogramme calculé par le programme CONISS fourni avec le logiciel TGVView (Grimm 1987). CONISS est un groupement agglomératif hiérarchique minimisant la dispersion totale des groupes, c.-à-d. la somme des carrés des écarts à la moyenne (en anglais, *total sum of squares* : TSS) des groupes. L'intensité du groupement, c.-à-d. la valeur de la TSS, est donnée avec le dendrogramme, à l'extrême droite des diagrammes polliniques. 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. D'un site à l'autre, le nombre de taxons utilisés pour la délimitation des ZAP est donc différent. Le pourcentage des taxons des 26 sites a été transformé par une racine carrée pour la délimitation des ZAP. 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. Cela peut marquer un changement notable au sein du couvert végétal; c'est donc un outil précieux. À l'inverse, si la valeur de la TSS associée à la fusion de deux 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 26 sites ont été nommées et numérotées, et elles sont décrites à l'annexe 7. Le nom donné tient compte de l'ordre d'abondance (%) des taxons dans les assemblages polliniques de la ZAP. La numérotation tient compte de l'ordre (1^{er}, 2^e et 3^e) des groupes illustrés sur le dendrogramme.

⁴ <http://calib.qub.ac.uk/calib>

La plupart des diagrammes polliniques des sites à l'étude ont été segmentés en 5 ZAP. Les sites du domaine de la pessière à lichens, déglacés plus tardivement, sont ceux qui sont les moins segmentés, avec en moyenne 3 ZAP par site. Un exemple de zonation d'un diagramme pollinique par dendrogramme est donné pour le lac Francis à la figure 6a. Celle-ci comporte 7 ZAP.

3.2.4 Taux d'accumulation pollinique (TAP) total du sédiment et de *Picea* et d'*Abies* des sites

Le TAP total du sédiment et de *Picea* et d'*Abies* a été déterminé pour tous les échantillons pour lesquels la concentration pollinique a été calculée par les pollenanalystes (voir la section 3.2.1). Bien sûr, le TAP total du sédiment ou d'un genre, comme *Picea* et *Abies*, est aussi influencé par le taux d'accumulation sédimentaire (TAS), lequel est influencé par le modèle chronologique (voir la section 3.2.2). À l'interprétation, on doit en tenir compte.

Le TAP est une variable qui, pour des conditions d'accumulation sédimentaire inchangées dans le temps, témoigne de la taille des populations végétales productrices de pollen. Ici, on posera l'hypothèse qu'une végétation dense émettra plus de pollen dans l'air qu'une végétation clairsemée de même composition générale, c.-à-d. affichant des assemblages polliniques similaires. En ce sens, une diminution du TAP total du sédiment peut être interprétée comme une ouverture du couvert forestier.

Les courbes du TAP de *Picea* et d'*Abies*, quant à elles, nous renseignent sur l'abondance réelle (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). L'étude des courbes du TAP de ces taxons permet de mieux juger de la réalité et de l'âge des fréquences polliniques de *Picea* et d'*Abies* observées dans les courbes exprimées en pourcentages (cf. Richard 1993). Ensemble, les courbes du TAP total du sédiment et du TAP de *Picea* et d'*Abies* permettent de mieux décrire l'implantation et le développement des pessières (PL et PM) et des sapinières (SBb et SBj) sur le territoire au cours de la période postglaciaire.

3.2.5 Reconstitution du climat postglaciaire 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 Fréchette *et al.* (2008a). Cette méthode tient pour acquis que si l'assemblage de deux échantillons est identique, que ceux-ci soient contemporains ou de périodes

différentes (p. ex. l'actuel et il y a 4 000 ans), cela signifie que les grains de pollen observés ont été produits par une végétation semblable, et donc, qu'ils témoignent d'un climat similaire. Ce lien entre le pollen et le climat s'appuie sur le fait qu'il existe une relation entre le pollen et la végétation et entre la végétation et le climat; il y aurait donc également un lien entre le pollen et le climat. 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). Cette mesure de dissimilarité est discutée en détail par Krzanowski (1971) et Goodman (1972), entre autres. Le calcul de la SCD (d^2) entre un assemblage postglaciaire (t) et actuel (i) est basé sur la différence des pourcentages (p) de chaque taxon pollinique ($j = 1$ à m) comme suit :

$$d_{it}^2 = \sum_j ((p_{ij})^{1/2} - (p_{jt})^{1/2})^2 [1]$$

La formule de la SCD peut-être réécrite de la façon suivante :

$$d_{it}^2 = 2 - 2 \sum_j (p_{ij} p_{jt})^{1/2} [2]$$

La mesure de corde est en fait tout simplement la distance euclidienne calculée sur la racine carrée des pourcentages polliniques. Elle varie de 0 à 2, la valeur 2 signifiant que les deux 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. La reconstitution du climat postglaciaire est basée sur le climat des analogues modernes retenus. Son calcul a tenu compte de la dissimilarité entre l'assemblage postglaciaire et les assemblages actuels. Plus précisément, la reconstitution des anciens climats à partir d'un assemblage pollinique postglaciaire t (r_t) est calculée à partir du climat de l'assemblage moderne i (c_i), où i varie de 1 à s (s = nombre d'analogues), pour lequel la dissimilarité (SCD) avec l'assemblage postglaciaire t est d_{it} . Sa formule s'énonce comme suit :

$$r_t = (\sum_i c_i / d_{it}^2) / \sum_i (1 / d_{it}^2) [3]$$

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.-à-d. 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.

La base de données modernes de 1010 sites utilisée pour reconstituer le climat comprend 52 taxons. Nous avons donc harmonisé les taxons polliniques dénombrés aux 26 sites aux 52 taxons de la base de données, et calculé de nouveaux pourcentages. Les données climatiques des 5 meilleurs analogues modernes ont été retenues pour reconstituer le climat postglaciaire. Le seuil de la SCD sous lequel deux échantillons sont considérés comme analogues a été fixé par le logiciel à 0,29.

Parmi les 70 variables climatiques et bioclimatiques reconstituées, nous avons privilégié la température moyenne du mois le plus chaud (MTWA), la température moyenne du mois le plus froid (MTCO), le nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5), les précipitations annuelles totales (PANN) et l'ensoleillement estival exprimé en pourcentages d'heures d'ensoleillement entre le lever et le coucher du soleil (SJJA). Dans plus de 95 % des cas, la MTWA et la MTCO correspondent à la température de juillet et de janvier, respectivement. Le degré de fiabilité (r^2 ou coefficient de corrélation de Pearson, et RMSE ou erreur quadratique moyenne) des reconstitutions climatiques par la méthode des analogues modernes est donné à l'annexe 8. Les résultats climatiques ont été exprimés sous forme d'anomalie par rapport à l'actuel, c.-à-d. les normales climatiques 1961–1990. Les valeurs des variables reconstituées aux sites proviennent de la base de données modernes de Whitmore et al. (2005).

Depuis une quarantaine d'années, la température et les précipitations ont fréquemment été reconstituées à partir de l'assemblage pollinique de sédiments postglaciaires (Webb et Bryson 1972). La reconstitution de l'ensoleillement ou, inversement, du couvert nuageux n'a été abordée que plus récemment. L'ensoleillement estival (SJJA) du dernier interglaciaire (env. 125 000 ans AA) et de la période postglaciaire actuelle (derniers 11 000 ans) ont été reconstitués à partir de l'assemblage pollinique de sédiments de l'Île du Cap Breton, de la terre de Baffin et du Groenland (Fréchette et de Vernal 2009, 2013, Fréchette et al. 2008b). En Fennoscandinavie, l'ensoleillement estival du dernier millénaire a été reconstitué à partir de la composition isotopique ($\delta^{13}\text{C}$) de cernes d'arbres (Gagen et al. 2011).

La reconstitution de l'ensoleillement aux sites postglaciaires permet de documenter les changements de la nébulosité dans l'ouest du Québec depuis la déglaciation. Par ailleurs, puisque la

formation des nuages est en lien avec le patron synoptique général de l'atmosphère sur l'Amérique du Nord, la reconstitution de l'ensoleillement révèle également le mode de circulation atmosphérique qui prévalait aux diverses époques. Dans l'hémisphère Nord, une circulation cyclonique (sens antihoraire) favorise un mouvement ascendant des masses d'air et la formation des nuages. En mode cyclonique, la circulation par les pôles (ou méridionale) est accrue, et les vents d'ouest (*westerlies*) sont généralement faibles. À l'inverse, une circulation anticyclonique (sens horaire) favorise le mouvement descendant des masses d'air et la persistance d'un ciel clair et ensoleillé. En mode anticyclonique, la circulation d'ouest en est (ou zonale) est plus intense, et les vents d'ouest sont forts. Dans l'hémisphère Nord, le déplacement de l'air d'ouest en est s'effectue par le courant-jet (*jet stream*), une bande étroite de vents forts située à environ 10 km au-dessus de la Terre. Ce courant marque la ligne de séparation entre les masses d'air froid (vers les pôles) et chaud (vers l'équateur) (Environnement Canada⁵). En Amérique du Nord, la répartition actuelle des biomes, notamment la transition entre la forêt boréale et la forêt décidue, soit la forêt mixte, est en lien avec cette position des masses d'air (p. ex. Bryson 1966; Bryson et Hare 1974).

Nous avons reconstitué le climat des 26 sites avec le module *bioindic*⁶ construit avec une plateforme R⁷, qui fournit deux 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 fichier renferme les coordonnées géographiques des analogues ainsi que le nom du groupe K-means auquel ils appartiennent. La végétation associée aux 15 groupes d'assemblage polliniques modernes, c.-à-d. aux 15 groupes K-means, a été préalablement déterminée à l'échelle du domaine bioclimatique. Les données du second fichier ont ensuite servi à reconstituer la végétation postglaciaire des 26 sites du territoire d'étude. Les courbes des reconstitutions climatiques des 26 sites sont disponibles sur demande (supplément 3).

Un exemple de reconstitution climatique est donné pour le lac Francis à la figure 6b. Seules les courbes de MTWA et de SCD entre les assemblages polliniques postglaciaires et le 1^{er} et le 5^e analogue moderne retenus pour la reconstitution sont illustrées.

⁵ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/meteo-a-oeil.html>

⁶ <https://www.eccorev.fr/spip.php?article389>

⁷ <http://cran.r-project.org>

3.2.6 Reconstitution de la végétation postglaciaire des sites

L'interprétation d'un assemblage pollinique sur le plan de la végétation est basée sur les liens entre le pollen et la végétation. Comme nous avons reconstitué le climat postglaciaire des 26 sites avec la méthode des analogues modernes, la contrepartie actuelle comparable aux assemblages postglaciaires des sites était connue. Nous avons reconstitué la végétation postglaciaire des 26 sites de l'ouest du Québec en nous appuyant sur (1) la végétation des analogues modernes retenus pour la reconstitution du climat, (2) la description de l'assemblage pollinique type de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec et sur (3) l'abondance (%) du pollen de *Picea* dans les assemblages postglaciaires. 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 polliniques locaux et régionaux réduits, tant que la végétation arborescente ne s'était pas installée.

Nous avons déterminé la végétation des analogues modernes à l'échelle du domaine bioclimatique pour les 15 groupes d'assemblages polliniques (groupes *K*-means) de la base de données modernes (section 3.1.3). L'abondance et la variabilité des taxons indicateurs dans les assemblages postglaciaires ont également été prises en compte lors de l'interprétation des assemblages en ce qui concerne la végétation, par exemple, en considérant l'abondance des essences boréales, comme *Picea*, par rapport à celle d'espèces plus thermophiles, comme *Pinus strobus*. Les taxons indicateurs des types de végétation du territoire d'étude ont été considérés pour la description de l'assemblage pollinique type (ou signature pollinique) de la végétation à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec.

Un exemple de végétation postglaciaire reconstituée est présenté pour le lac Francis à la figure 7. Il est intéressant de noter que l'environnement forestier de ce lac, aujourd'hui situé dans la sapinière à bouleau blanc, a déjà appartenu à la sapinière à bouleau jaune.

3.3 Synthèse des données polliniques postglaciaires des sites de l'ouest du Québec et description de l'histoire de la végétation

La synthèse des données polliniques postglaciaires des 26 sites a permis de dresser le portrait

de la végétation de l'ouest du Québec depuis la déglaciation (étape 3). Nous avons synthétisé les données postglaciaires des 26 sites d'abord à l'échelle des ZAP des 8 secteurs, puis à l'échelle des provinces polliniques de l'ouest du Québec.

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.

3.3.1 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'ouest du Québec, nous avons comparé les palynostratigraphies de chacun des 26 sites (annexe 5), puis nous les avons résumées par domaine bioclimatique (PL, PM, SBb, SBj) et par secteur⁸. Pour la PM, la SBb et la SBj, la palynostratigraphie des sites à l'ouest du 75° méridien O. est décrite séparément de celle des sites à l'est (secteur Ouest vs secteur Est) en raison du contraste entre les PANN des deux secteurs (tableau 2). Tous les sites de la PM (ouest : CRATES, PESS; est : CH2, DES) et de la SBj (ouest : LOUIS, CGC27; est : BRIDE, MART) ont été conservés. Le site PFOND a été exclu des sites de l'ouest de la SBb (SIX, YELLE, CLO, FRANC) parce que la chronologie de ses ZAP est grandement affectée par le long pas analytique de ses données (± 750 ans). Le site VAL a été exclu des sites de l'est de la SBb (SFS, PRU, COUCH, FLEVY) en raison de son altitude élevée et de son éloignement par rapport aux autres sites. Pour la PL, les sites les plus au nord (secteur Nord : LG409, GB2, lat. $\approx 55^\circ$ N.), à température plus froide, ont été isolés de ceux du centre-sud (secteur Sud : LG406P-LG412, lat. $\approx 53^\circ$ N.). La palynostratigraphie des sites BER, LG401P, LG405 et BRI2 n'a pas été considérée pour le résumé des ZAP de la PL. Tout comme pour l'ouest de la SBb, ces sites ont été exclus en raison du long pas analytique (± 400 ans) en comparaison à celle des sites retenus (± 250 ans). Finalement, 20 sites ont été retenus, et leur palynostratigraphie est décrite à l'échelle de 8 groupes de sites (ci-après dénommés 8 secteurs : PL-N, PL-S, PM-O, PM-E, SBb-O, SBb-E, SBj-O et SBj-E).

⁸ Le terme « secteur » fait référence à une subdivision des sous-domaines bioclimatiques.

Les diagrammes polliniques des sites d'un même secteur ont été comparés visuellement sur la base de leurs ZAP. Les ZAP des sites rapprochés les uns des autres sont généralement comparables, et celles communes à plusieurs sites peuvent être utilisées pour dresser la palynostratigraphie postglaciaire d'un secteur, afin de mettre l'accent sur la composante régionale de la végétation. En effet, la reconstitution de la végétation du territoire à partir des ZAP des sites, individuellement, pourrait être biaisée par des particularités locales des sites, par exemple la taille du bassin et la densité de la végétation locale.

La reconstitution de la végétation des sous-domaines bioclimatiques de l'ouest du Québec repose sur la palynostratigraphie des 20 sites regroupés en 8 secteurs et sur la comparaison des assemblages postglaciaires des sites avec les assemblages polliniques de la base de données modernes (voir la section 3.2.6). Le résultat est présenté par domaine bioclimatique (PL, PM, SBb et SBj) et par secteur (à l'ouest ou à l'est de 75° de longitude O. pour la PM, la SBb et la SBj; au nord ou au sud du 54° parallèle pour la PL). L'étude de la dynamique forestière en fonction de la latitude (domaines bioclimatiques) et de la longitude (secteurs) a l'avantage de permettre la discussion des résultats en lien avec la température et les précipitations de la région, respectivement.

3.3.1.1 Palynostratigraphie postglaciaire des 8 secteurs

L'établissement de la palynostratigraphie postglaciaire de chacun des 8 secteurs comprend plusieurs étapes :

(1) **Identification des ZAP communes aux sites du secteur et des taxons dominants**, à partir de l'observation du diagramme pollinique des 20 sites. Pour chaque secteur, nous avons comparé les ZAP des sites pour identifier les principales ZAP, c.-à-d. celles communes à tous les sites, parmi celles identifiées par les dendrogrammes (annexe 5), qui elles sont basées sur tout le contenu en grains de pollen des échantillons (voir la section 3.2.3). Chacune des ZAP est généralement dominée par un taxon pollinique, dont l'abondance (%) augmente généralement à la base de la ZAP. Toutefois, comme les ZAP sont définies d'après l'assemblage pollinique complet de l'échantillon et non sur la seule abondance du taxon dominant, il est arrivé que la borne inférieure de la ZAP ne corresponde pas tout à fait à l'augmentation de l'abondance du taxon dominant dans le diagramme.

(2) **Précision des frontières des ZAP des sites du secteur à l'aide de la fréquence des taxons dominants**. Pour chacun des sites d'un même

secteur, nous avons précisé les frontières des ZAP communes aux sites en considérant uniquement la courbe de la fréquence d'un taxon dominant. Puisque les sites d'une même secteur sont rapprochés, on tient pour acquis que la présence de l'arbre ou de l'arbuste représenté par ce taxon s'est accrue plus ou moins au même moment dans ce secteur. Il est important de mentionner que la chronologie des sites n'a pas été prise en compte pour l'identification des principales ZAP. Celles-ci ont été identifiées sur les diagrammes ordonnés en fonction de la profondeur (annexe 5).

(3) **Calcul de la chronologie moyenne des ZAP du secteur**. Pour chacun des 8 secteurs, nous avons calculé la chronologie moyenne des principales ZAP sur la base de celle des ZAP des sites du secteur. Les ZAP ont été numérotées et nommées en tenant compte de l'ordre d'abondance (%) des taxons dans les assemblages. Il est bon de rappeler que les différentes ZAP identifiées ne correspondent pas nécessairement à des types distincts de végétation.

Les ZAP basales (ZAP 1) occupent généralement le sédiment inorganique des séquences. Peu ou pas de dates au radiocarbone sont disponibles pour ces sédiments. Leur chronologie en général, et leur durée en particulier, sont donc 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 ces cas, la concentration pollinique des assemblages initiaux, souvent dans des sédiments silto-argileux, est extrêmement faible. Ainsi, l'interprétation de ces ZAP identifiées au départ numériquement par dendrogramme n'a pas de sens en ce qui a trait à la nature même de la végétation de ces époques.

3.3.1.2 Végétation postglaciaire des 8 secteurs

Nous avons synthétisé la végétation postglaciaire des 20 sites (voir la section 3.2.6) à l'échelle des ZAP des 8 secteurs en compilant par ZAP le nombre d'analogues inclus dans chacun des 15 groupes d'assemblages polliniques modernes (groupes *K-means*). Pour chacune des ZAP des 8 secteurs, nous avons calculé la CP moyenne, le TAP moyen et la SCD moyenne maximale (c.-à-d. la valeur du 5^e analogue) entre les assemblages postglaciaires et les assemblages modernes (supplément 4, disponible sur demande). La valeur de la SCD est importante, car plus elle est élevée, plus les assemblages postglaciaires sont distincts

des assemblages modernes. Une telle dissimilarité pourrait témoigner d'une végétation postglaciaire sans contrepartie palynologique actuelle dans les types de végétation du nord-est de l'Amérique du Nord. Le seuil d'acceptabilité de la SCD a été fixé à 0,29.

3.3.1.3 Densité du couvert forestier postglaciaire

À titre purement exploratoire, nous avons estimé la densité du couvert forestier de la PL, de la PM, de la SBB et de la SBJ à l'aide du TAP total des sédiments (exprimé en grains·cm⁻²·an⁻¹). Pour un assemblage pollinique donné et pour des conditions d'accumulation pollinique inchangées dans le temps, cette variable est liée à la taille des populations productrices de pollen. Ici, nous avons posé l'hypothèse qu'une végétation dense émettra plus de pollen dans l'air qu'une végétation clairsemée de même composition générale, c.-à-d. affichant des assemblages polliniques similaires. En ce sens, au sein d'une même végétation, une diminution du TAP peut être interprétée comme une ouverture du couvert forestier, si l'on tient pour acquis que le nombre de sites considérés atténue les différences taphonomiques de chacun, au sein d'un sous-domaine donné. Nous avons calculé le TAP moyen des ZAP des sites (n = 20); le résultat est donné au supplément 4 (disponible sur demande). Les limites du TAP pour estimer la densité du couvert forestier à une époque donnée sont discutées à la section 3.2.4.

3.3.2 Synthèse de la végétation postglaciaire à l'échelle des 6 provinces polliniques

Afin de décrire l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec, nous avons comparé les palynostratigraphies synthèses des 8 secteurs, puis nous les avons résumées à l'échelle de l'ensemble du territoire d'étude.

3.3.2.1 Provinces polliniques postglaciaires

Nous avons comparé les ZAP des 8 secteurs de l'ouest du Québec afin d'identifier les ZAP communes à l'ensemble du territoire d'étude, à une période donnée. Ces ZAP communes correspondent aux provinces polliniques postglaciaires du territoire d'étude. À l'échelle de l'ouest du Québec, nous avons identifié 6 provinces polliniques postglaciaires; chacune d'elles marque une période de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec.

3.3.2.2 Phases de la végétation postglaciaire

À l'échelle du postglaciaire, Richard (1977) a proposé les trois grandes phases suivantes partout où ce fut possible en régions aujourd'hui forestières : la **phase non arboréenne**, la **phase**

d'afforestation et enfin, la **phase forestière**. Pour l'ouest du Québec, nous avons observé la phase d'afforestation et la phase forestière. Toutefois, nous n'avons pas clairement identifié la phase initiale non arboréenne de la végétation, telle que décrite par Richard (1977). Par définition, cette phase non arboréenne ne comprend pas d'arbres, et la végétation associée est généralement une toundra, contrôlée ou non par le climat. Dans l'ouest du Québec, les assemblages à la base des diagrammes polliniques des sites témoignent plutôt de la **phase d'immigration des espèces végétales**, ou encore, du tout début de la phase d'afforestation.

3.4 Synthèse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat de l'ouest du Québec à l'échelle du millénaire.

Afin de comparer les sites et les secteurs, puis de décrire l'histoire de la végétation postglaciaire de l'ouest du Québec en lien avec le climat, nous avons résumé les données polliniques et climatiques des 26 sites sur une base temporelle, c.-à-d. à l'échelle du millénaire ou par tranche de 1 000 ans d'accumulation sédimentaire (étape 4). Les bornes utilisées pour le calcul des moyennes par millénaire sont les suivantes : 0 (0 à 500 ans AA), 1 000 (500 à 1 500 ans AA), 2 000 (1 500 à 2 500 ans AA), etc. Ces bornes sont les mêmes que celles utilisées par Blarquez *et al.* (2014) pour étudier la diversité pollinique tardiglaciaire et holocène de 205 sites de la forêt boréale canadienne, par Dyke (2005) dans le cadre d'une synthèse portant sur l'histoire des biomes dans le nord de l'Amérique du Nord au cours des 18 000 dernières années, et par Carcaillet et Richard (2000) pour étudier l'incidence des feux de forêt à travers la forêt boréale et la forêt mixte québécoise au cours de la période postglaciaire.

Nous avons utilisé les résultats millénaires des 26 sites de l'ouest du Québec pour décrire la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat de l'ouest du Québec depuis la déglaciation : (1) par l'étude de l'histoire du climat postglaciaire et de son régionalisme à travers le territoire et (2) par l'estimation de la densité et la cartographie de la répartition de la végétation sur le territoire à une période donnée, de manière à en évaluer la diversité.

3.4.1 Climat millénaire de l'ouest du Québec

Afin de traduire les changements du climat postglaciaire à la même échelle temporelle que pour la végétation, nous avons résumé l'information climatique des 26 sites par millénaire, de 9 000 ans AA à aujourd'hui, pour les variables climatiques MTWA, MTCO, PANN et SJJA, exprimées en anomalie par rapport à l'actuel. La figure 8b présente un exemple

du calcul de l'anomalie climatique pour la MTWA par tranche de 1 000 ans d'accumulation sédimentaire. Contrairement au résumé de la palynostratigraphie, qui s'est basé sur 20 sites (voir la section 3.3.1), les résultats climatiques millénaires s'appuient sur les 26 sites. Le protocole suivant a été utilisé pour résumer l'information :

(1) Calcul des anomalies climatiques aux 26 sites. Nous avons exprimé les données climatiques reconstituées pour chacun des sites en anomalie par rapport à l'actuel, en soustrayant la valeur actuelle de la valeur reconstituée.

(2) Calcul des anomalies climatiques millénaires aux 26 sites. Pour chaque site, nous avons ensuite calculé l'anomalie climatique pour chaque tranche de 1 000 ans de sédiments entre l'actuel et 9 500 ans AA.

(3) Calcul des anomalies climatiques millénaires pour l'ensemble du territoire d'étude. Pour chaque millénaire, nous avons calculé l'anomalie climatique moyenne à partir de la donnée millénaire de chacun des 26 sites. Pour quelques tranches d'âge (0, 7 000, 8 000 et 9 000 ans AA), l'anomalie climatique moyenne est basée sur moins de 26 sites, en raison de l'absence de données pour certains sites (surface non disponible, aucun échantillon dans la tranche d'âge en question). Le nombre de données par millénaire est également 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 46 (9 000 ans AA) à 120 (4 000 ans AA), avec en moyenne 86 données par millénaire.

3.4.2 Régionalisme du climat millénaire à travers l'ouest du Québec

Afin d'étudier la variabilité du climat postglaciaire à travers le territoire, nous avons regroupé les 26 sites en fonction de l'âge de leur déglaciation et de leur emplacement, puis résumé leur climat. La déglaciation a été asynchrone à travers le territoire, et certains sites ont été submergés par les eaux d'un grand lac proglaciaire (le lac Ojibway) lors des premiers millénaires de l'époque postglaciaire (voir la section 1.4). Le retrait tardif des glaces dans le nord du territoire et la présence des eaux du lac proglaciaire Ojibway dans l'ouest ont sans doute influencé le climat et l'afforestation de ces régions.

Trois groupes de sites (ou régions) ont été créés. D'abord, la « Jamésie » comprend les sites de la pessière à lichens de la région de la baie James et de la région de LG-4. Ensuite, l'« Abitibi » comprend les sites de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc à l'ouest de 75° de longitude O. Ils

occupent la Grande Ceinture d'Argile et sont donc tous postérieurs au lac proglaciaire Ojibway. Enfin, la « Sagamie » comprend les sites des mêmes sous-domaines bioclimatiques que le groupe Abitibi, mais situés à l'est de 75° de longitude O., sur le plateau Laurentidien, en haute Mauricie, dans la région du Saguenay-Lac-St-Jean (Sagamie au sens strict) et à proximité de Chibougamau.

Nous avons utilisé le même protocole pour calculer le climat millénaire des 3 régions que pour l'ensemble du territoire. Encore une fois, nous avons utilisé les anomalies climatiques (MTWA, MTCO, PANN, SJJA) pour le calcul des moyennes. La dissimilarité maximale moyenne (SCD_{max}), c.-à-d. celle entre le 5^e et dernier analogue moderne et l'assemblage postglaciaire, a également été calculée par millénaire dans chacune des 3 régions.

Le climat de la Jamésie est basé sur les résultats de 3 sites (GB2, LG409, LG406P), avec en moyenne 14 données par millénaire. Aucune donnée n'est disponible à 8 000 et 9 000 ans AA, puisque les localités étaient toujours englacées. Le climat de la Sagamie est basé sur les données de 6 sites (FLEVY, COUCH, PRU, SFS, MART, BRIDE), avec en moyenne 14 données par millénaire. Finalement, le climat de l'Abitibi est basé sur les données de 6 sites (CLO, YELLE, FRANC, SIX, CRATES, PESS), avec en moyenne 26 données par millénaire. Les sites exclus pour le calcul du climat des groupes sont ceux se trouvant un peu trop à l'écart des autres sites du même groupe.

3.4.3 Répartition de la végétation millénaire dans l'ouest du Québec

Afin d'étudier la répartition (et la diversité) de la végétation postglaciaire à travers l'ouest du Québec et de la mettre en lien avec les changements millénaires du climat, nous avons résumé les données polliniques des 26 sites par tranche de 1 000 ans d'accumulation sédimentaire, en utilisant les mêmes bornes que pour le calcul du climat millénaire : 0 ans AA (0 à 500 ans AA), 1 000 ans AA (500 à 1 500 ans AA), 2 000 ans AA (1 500 à 2 500 ans AA), etc. L'accent a été mis sur les millénaires 0, 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA. Le protocole utilisé pour résumer l'information pollinique par millénaire est le suivant :

(1) Calcul des assemblages polliniques millénaires aux 26 sites. Pour chaque site, nous avons calculé un assemblage pollinique moyen par tranche de 1 000 ans de sédiments. Dans l'ensemble, les données des sites couvrent 8 millénaires. La figure 8a présente un exemple du calcul des assemblages polliniques par tranche de 1 000 ans de sédiments pour le lac Francis.

(2) **Harmonisation de la taxonomie.** Nous avons harmonisé la taxonomie des grains de pollen identifiés aux 26 sites pour être en mesure de comparer les assemblages polliniques millénaires, parce que l'identification des taxons n'a pas été poussée jusqu'au niveau de l'espèce à tous les sites. C'est notamment le cas pour les grains de *Pinus* au site LOUIS. Ailleurs, les grains de *Pinus banksiana* ont été distingués des grains de *Pinus strobus*, mais la part de grains identifiés simplement comme *Pinus* (généralement associée à des fragments de grains) était parfois importante. Les grains de pollen de *Pinus banksiana* ont donc été groupés avec ceux de *Pinus strobus* sous le taxon *Pinus*. Nous avons retenu les 52 taxons utilisés pour les reconstitutions climatiques (voir l'annexe 1 pour plus de détails sur leur sélection).

(3) **Construction d'un diagramme avec les assemblages polliniques millénaires des 26 sites.** Pour chaque millénaire, nous avons construit un diagramme pollinique illustrant les assemblages moyens des 26 sites de la période en question.

(4) **Comparaison des assemblages polliniques millénaires des 26 sites, et identification 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 programme CONISS, qui a produit le dendrogramme illustré à l'extrême droite des diagrammes des assemblages millénaires. Tout comme pour la délimitation des ZAP des 26 diagrammes polliniques à l'aide d'un dendrogramme (voir la section 3.2.3), les pourcentages millénaires des différents taxons ont été transformés par racine carrée. Nous avons considéré 3 ordres de groupement; ceux-ci sont illustrés par des traits de styles différents. Le groupement de 1^{er} ordre, le plus important, correspond à la dernière fusion et reflète sans doute un changement majeur de végétation. Les groupements de 3^e ordre, dont la TSS est d'environ 1, témoignent d'un changement très subtil dans la végétation. Les groupes identifiés avec une TSS inférieure à 1 sont illustrés sur les diagrammes millénaires.

(5) **Illustration des couverts végétaux millénaires reconstitués sur une carte.** Pour chaque millénaire, 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.

Nous avons résumé la végétation postglaciaire des 26 sites à l'échelle du millénaire. La végétation millénaire des sites a été reconstituée avec la méthode décrite à la section 3.2.6. La reconstitution de la végétation millénaire des groupes de sites est basée sur la végétation associée aux analogues modernes (groupes *K-means*), l'assemblage type de la végétation des domaines bioclimatiques du Québec et l'abondance (%) du pollen de *Picea* dans les assemblages millénaires. Pour chaque millénaire, nous avons compilé le nombre d'analogues inclus dans chacun des 15 groupes d'assemblage polliniques modernes par groupe de sites. Le résultat de la compilation de la provenance des analogues modernes par groupe est livré au supplément 5 (disponible sur demande), qui présente l'information pour tous les millénaires, de 9000 ans AA à aujourd'hui.

Les diagrammes polliniques millénaires incluent seulement les principaux taxons arboréens et arbustifs. Pour chaque millénaire, le TAP moyen (ou l'influx) des groupes a été calculé, et le biome du groupe a été reconstitué. La reconstitution du biome des groupes est basée sur la moyenne millénaire des GDD5 et de la MTCO des sites inclus dans les groupes, avec le barème suivant : forêt mixte : GDD5 > 1200 degrés-jours, MTCO > -15 °C; forêt boréale : GDD5 900–1200 degrés-jours, MTCO -19 à -15 °C; toundra forestière : GDD5 350–900 degrés-jours, MTCO < 19 °C (Prentice *et al.* 1992). Les moyennes millénaires (GDD5, MTCO, TAP) des sites sont livrées au supplément 5 (disponible sur demande). Dans l'ensemble, le dernier groupement réunit les sites avec des GDD5 millénaires < 1000 degrés-jours avec ceux ayant des GDD5 > 1000 degrés-jours.

3.4.4 Densité du couvert forestier millénaire dans l'ouest du Québec

Afin d'éventuellement mettre en lien la densité de la végétation et le climat, nous avons résumé le TAP (exprimé en grains·cm⁻²·an⁻¹) des échantillons par tranche de 1000 ans pour l'ensemble du territoire, puis séparément par région : Jamésie, Abitibi, Sagamie. Le TAP millénaire pour l'ensemble du territoire est toutefois basé sur moins de sites (n = 23) que celui du climat (n = 26), car la concentration pollinique, nécessaire au calcul du TAP, n'était pas disponible pour les sites SIX, CRATES et LOUIS. Les limites du TAP pour estimer la densité du couvert forestier à une époque donnée sont discutées à la section 3.2.4.

Chapitre quatre

Résultats

La présentation des résultats suit le même ordre que celle de la méthodologie. Les liens entre les différents résultats sont présentés à la figure 4.

4.1 Données polliniques modernes de l'est du Canada

4.1.1 Groupes d'assemblages polliniques de la base de données modernes

Les 1 010 assemblages polliniques de la base de données modernes ont été comparés et groupés selon leur ressemblance. La méthode de groupement *K-means* a permis de distinguer 15 groupes d'assemblages polliniques (ou 15 groupes modernes) parmi les 1 010 sites de la base de données modernes (annexe 4). L'assemblage pollinique des 1 010 sites est livré sur 2 diagrammes au supplément 1 (disponible sur demande). L'emplacement des 15 groupes de sites est précisé sur des cartes à la figure 9c. L'assemblage pollinique des différents groupes modernes est décrit à la figure 9d. Les points ombrothermiques durant la saison de croissance (précipitations estivales totales en fonction du nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C) des 1 010 sites sont présentés à la figure 10, et le climat moyen des 15 groupes est livré à l'annexe 4. Dans le texte qui suit, les termes « herbes » et « pollen herbacé » désignent l'ensemble des taxons non ligneux livrés sur les diagrammes.

4.1.1.1 Groupe A : La forêt boréale et la toundra forestière

Les sites modernes du grand groupe A sont tous situés au-delà de 50° de latitude N. (figure 9a). Le nombre de GDD5 des sites de ce groupe est dans l'ensemble < 1 000 (figure 10). Les assemblages polliniques des sites de ce groupe proviennent de la forêt boréale (groupe Aa) et de la toundra forestière (groupe Ab). Le pollen de *Picea* (38 %) domine le grand groupe A (figure 9b). En ordre d'importance, on trouve ensuite *Betula* (17 %), *Alnus crispa* [Aiton] Pursh (12 %), *Pinus* (11 %) et le pollen herbacé (11 %). En ce qui concerne le pollen, les sites de la forêt boréale (groupe Aa) se distinguent de ceux de la toundra forestière (groupe Ab) par des pourcentages plus élevés de *Picea* (Aa : 50 %, Ab : 20 %) et de *Pinus* (Aa : 15 %, Ab : 5 %), et une moindre abondance de taxons herbacés (Aa : 5 %, Ab : 25 %), notamment les cypéracées (Aa : 5 %,

Ab : 20 %), et de *Betula* (Aa : 15 %, Ab : 25 %) et d'*Alnus crispa* (Aa : 10 %, Ab : 15 %; figure 9b).

Le groupe de sites de la **toundra forestière (Ab)** a été divisé en deux (Ab1 et Ab2) (figure 9c). Le pollen de *Betula* (28 %) et celui de *Picea* (22 %) dominent les sites du groupe Ab1, mais ils sont nettement moins abondants dans les sites du groupe Ab2 (10 et 15 %, respectivement, figure 9d). Le pollen herbacé est beaucoup plus abondant dans les sites du groupe Ab2 (44 %) que dans ceux du groupe Ab1 (18 %). Dans son ensemble, la signature pollinique des sites du groupe Ab1 s'approche de celle du nord de la forêt boréale (c.-à-d. de la taïga) et de la toundra forestière à proprement parler, alors que celle des sites du groupe Ab2 correspond plutôt au secteur arbustif de la toundra forestière. Toutefois, il est possible que la division du groupe Ab soit liée au milieu de dépôt des sites (annexe 4). En effet, les assemblages du groupe Ab2, riches en herbes, proviennent majoritairement de coussinets de mousses (70 %) et de tourbières (16 %). À l'inverse, les assemblages du groupe Ab1, plus riches en taxons arboréens, proviennent surtout de sédiments lacustres (71 %). Cependant, puisque les sites du groupe Ab2 proviennent principalement de la baie du Diana, du nord du Labrador, de Terre-Neuve et des hautes altitudes de la Gaspésie (voir les cartes de la figure 9c), nous croyons que l'assemblage pollinique du groupe Ab2 représente bien l'environnement arbustif de la toundra forestière (TF-a) et que celui du groupe Ab1 reflète plutôt son secteur arboréen (TF-f).

Le groupe de sites de la **forêt boréale (Aa)** a été soumis à deux tests de groupement, qui ont résulté en 5 entités (figure 9c). Lors du premier test de groupement, les sites de l'ouest de la forêt boréale (Aa1) ont été isolés de ceux de l'est (Aa2) (annexe 4). La limite géographique des deux groupes se situe approximativement le long du 75° méridien. Le pollen de *Picea* (37 %) et celui de *Pinus* (32 %) sont abondants parmi les sites de l'ouest de la forêt boréale (Aa1), et le pollen de *Picea* (58 %) domine l'assemblage des sites de l'est (Aa2) qui, dans leur ensemble, sont pauvres en grains de *Pinus* (< 5 %, figure 9d). Le pollen de *Betula* et celui d'*Alnus crispa* sont légèrement plus abondants dans l'est du territoire.

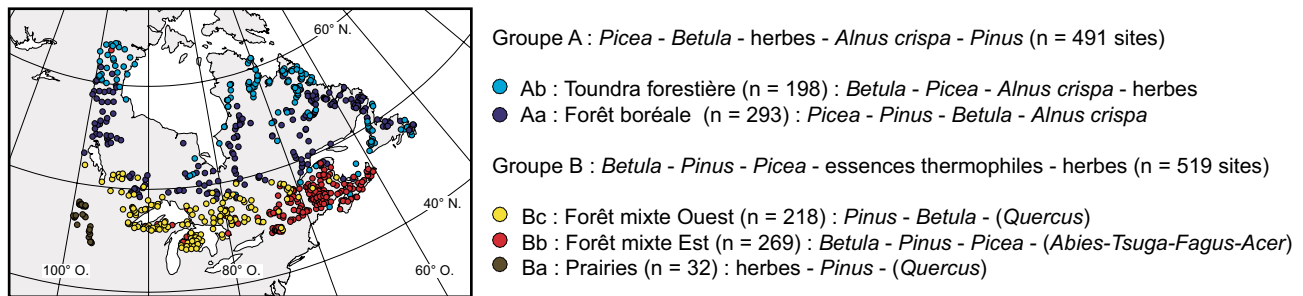
Lors du second test de groupement, les sites de l'ouest (Aa1) ont été divisés en 2 groupes (Aa1a et Aa1b), et ceux de l'est (Aa2), en 3 groupes (Aa2a, Aa2b et Aa2c). Les principaux traits polliniques de ces 5 groupes sont présentés ci-dessous.

Dans l'ouest de la forêt boréale (Aa1), les sites du nord (Aa1a, lat. env. 55° N.) ont été isolés de ceux du sud (Aa1b, lat. env. 52° N.). L'abondance de *Picea* des deux groupes est comparable (Aa1a : 38 %, Aa1b : 36 %). Ce sont principalement les fréquences de *Pinus*, de *Betula* et d'*Alnus crispa* qui distinguent l'assemblage pollinique de ces deux groupes. Le pollen de *Pinus* est plus abondant dans le sud (Aa1b) et à l'inverse, le pollen de *Betula* et celui d'*Alnus crispa* sont plus abondants dans le nord (Aa1a) (figure 9d). Le pollen d'*Abies* est relativement abondant parmi les sites plus au sud

(Aa1b : env. 2 %), alors qu'il est presque absent de ceux plus au nord (Aa1a : env. 0,2 %). Les sites plus au nord (Aa1a) appartiennent à la pessière à lichens et à la pessière à mousses (PL/PM), alors que ceux plus au sud (Aa1b) appartiennent à la pessière à mousses et à la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) (figure 9c).

Dans l'est de la forêt boréale (Aa2), le groupement des sites est plus régionalisé. Les sites du groupe Aa2a (lat. env. 54° N.) proviennent principalement du sud du Labrador. Ceux du groupe Aa2b (lat. env. 55° N.) sont situés dans la taïga (pessière à lichens) québécoise, c.-à-d. à la frontière entre la forêt boréale et la toundra forestière. Finalement, ceux du groupe Aa2c (lat. env. 49° N.) sont distribués un peu partout, mais ils sont majoritairement concentrés sur la Côte-Nord, en Gaspésie

a) Carte de la répartition des sites en fonction des 5 grands groupes d'assemblages polliniques modernes



b) Diagramme des assemblages polliniques moyens des grands groupes

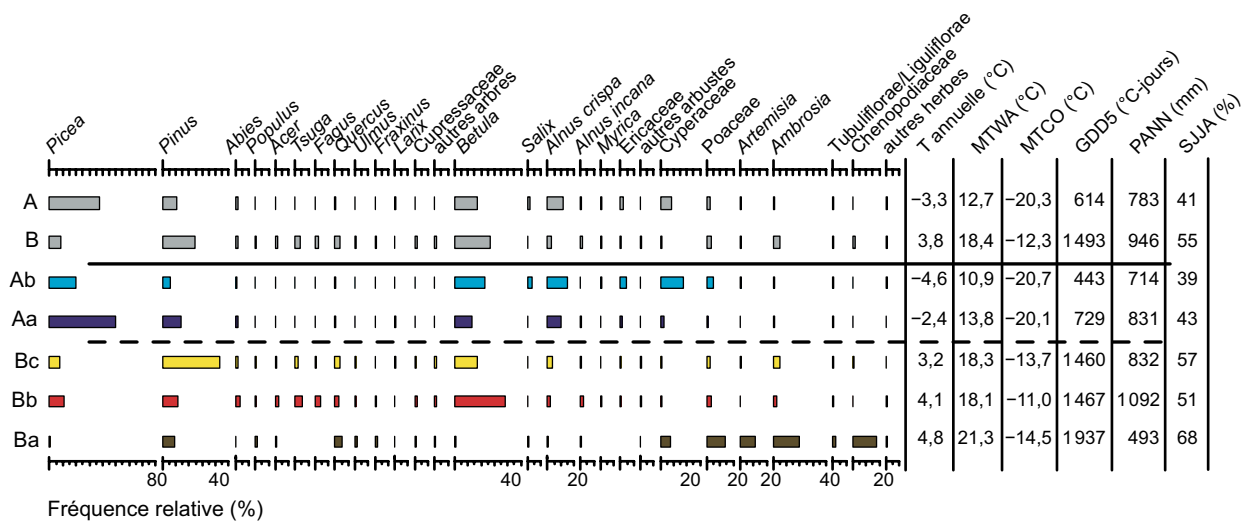
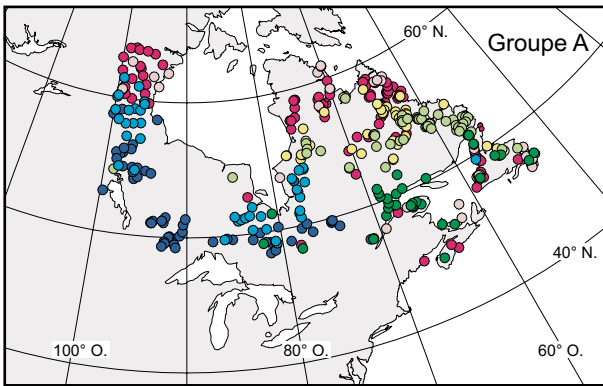


Figure 9. Cartes de la répartition des sites et diagrammes polliniques sommaires des sédiments de surface de la base de données modernes de l'est du Canada, regroupés en fonction du résultat du groupement K-means. a) Carte de la répartition des sites en fonction des 5 grands groupes d'assemblages modernes. b) Diagramme de l'assemblage pollinique moyen des grands groupes. Leur climat moyen est donné à la droite du diagramme.

c) Carte de la répartition des sites en fonction des 15 groupes d'assemblages polliniques modernes

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*)

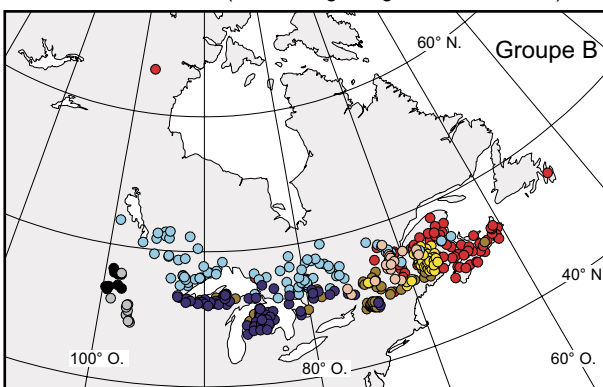
Aa2 : Forêt boréale Est

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*

d) Diagramme des assemblages polliniques moyens des groupes

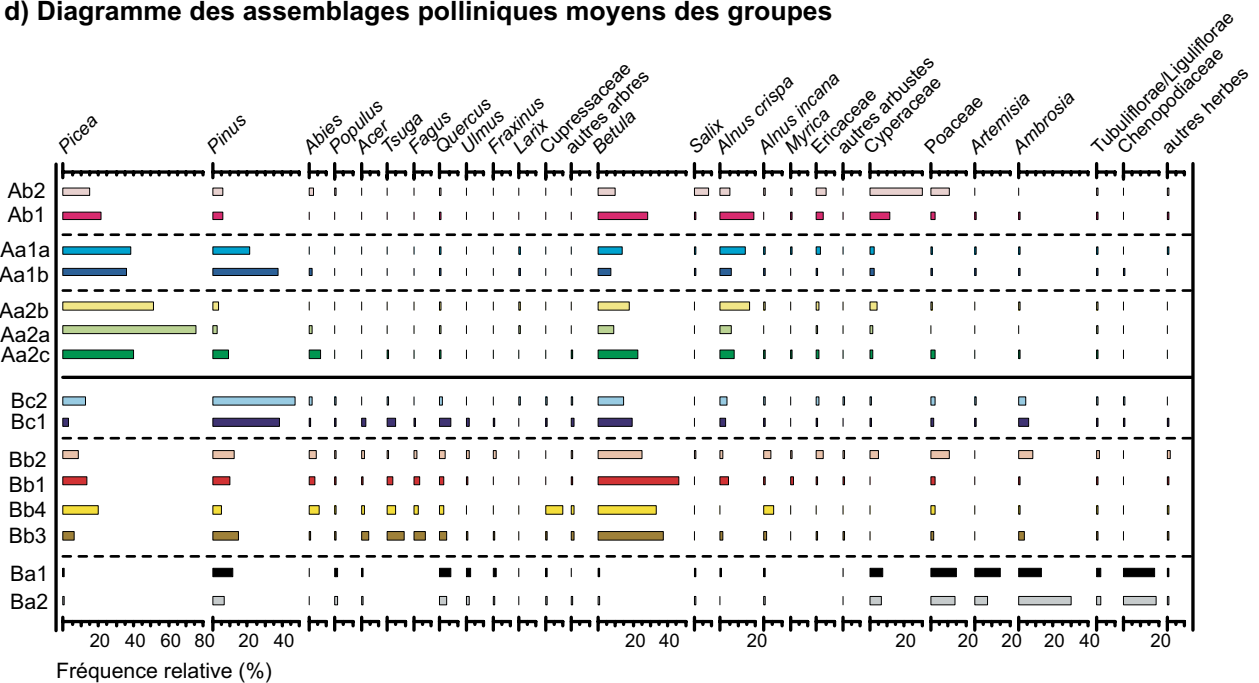


Figure 9. (suite) c) Carte de la répartition des sites en fonction des 15 groupes d'assemblages polliniques modernes. d) Diagramme de l'assemblage pollinique moyen des groupes. Leur climat moyen est donné à l'annexe 4. Se référer au supplément 1 (disponible sur demande) pour la représentation pollinique des 1010 sites de la base de données modernes. 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.

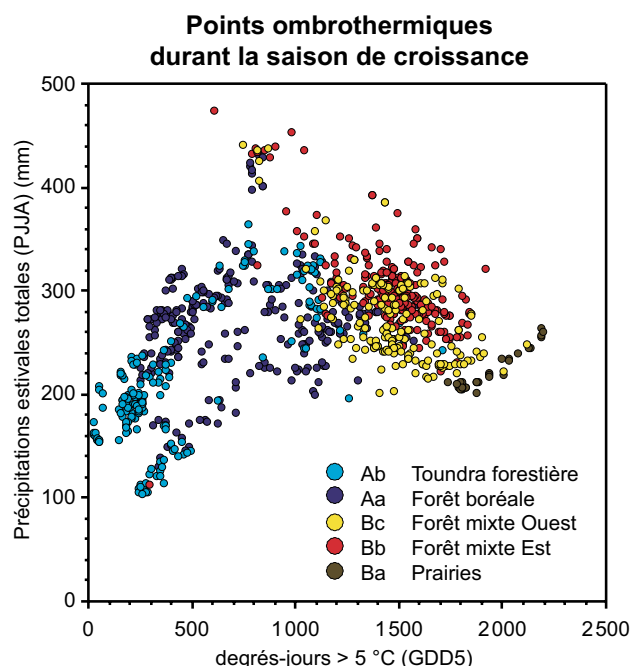


Figure 10. Points ombrothermiques durant la saison de croissance des sites appartenant aux 5 grands groupes d'assemblages polliniques modernes. Le graphique représente les précipitations estivales totales (PJJJA) en fonction du nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5), d'après les données de Whitmore *et al.* (2005).

et à Terre-Neuve (figure 9c). Le pollen de *Picea* domine nettement les sites du groupe Aa2a (sud du Labrador) avec un pourcentage moyen > 75 % (figure 9d). Le pollen de *Picea* est légèrement plus abondant dans les sites du groupe Aa2b (51 %) que dans ceux du groupe Aa2c (40 %). En ce qui concerne le pollen, ce sont plutôt les fréquences de *Pinus*, d'*Abies* et d'*Alnus crispa* qui distinguent les sites du groupe Aa2b de ceux du groupe Aa2c (figure 9d). Les pourcentages de *Pinus* et d'*Abies* sont plus élevés parmi les sites méridionaux (Aa2c : env. 10 % et > 5 %, respectivement) que parmi les sites plus au nord (Aa2b : < 5 % et < 1 %, respectivement). À l'inverse, le pourcentage d'*Alnus crispa* est plus important dans les sites du groupe Aa2b (> 15 %) que dans ceux des groupes Aa2c (< 10 %) et Aa2a (< 10 %). Les sites du sud du Labrador (Aa2a) appartiennent à la pessière à mousses (PM), et ceux de la taïga québécoise (Aa2b) appartiennent, bien sûr, à la pessière à lichens (PL) (figure 9c). Les sites plus au sud (Aa2c) appartiennent à la pessière à mousses et à la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb).

4.1.1.2 Groupe B : La forêt mixte et les prairies

Les sites modernes du grand groupe B sont tous situés au sud du 50° parallèle (figure 9a). Le nombre de GDD5 des sites de ce groupe est > 1000 (figure 10). Les assemblages polliniques des sites

de ce groupe proviennent des prairies (groupe Ba) et de la forêt mixte (à l'est, le groupe Bb, et à l'ouest, le groupe Bc). La limite géographique entre les groupes Bb et Bc suit à peu près le 78° méridien. Le pollen de *Betula* (27 %) et celui de *Pinus* (25 %) dominent ces deux assemblages (figure 9b). Comparativement à ce qu'on voit dans le grand groupe A, le pourcentage de *Picea* dans tous les sites du grand groupe B est très faible (< 10 %). L'assemblage des sites des prairies (Ba), quant à lui, est dominé par les herbes (75 %) et il est bien distinct de celui des deux autres groupes (Bb et Bc). En ce qui concerne le pollen, les sites de l'est de la forêt mixte (Bb) se distinguent de ceux de l'ouest de la forêt mixte (Bc) par des pourcentages plus élevés de *Betula* (Bb : 35 %, Bc : 15 %) et des pourcentages plus faibles de *Pinus* (Bb : 10 %, Bc : 40 %).

Le groupe de sites des **prairies (Ba)** a été divisé en 2 (Ba1 et Ba2). L'assemblage pollinique de ces deux groupes est toutefois très semblable (figure 9d). Les taxons arboréens sont légèrement plus abondants dans les sites nordiques du groupe (lat. env. 48° N.) (Ba1 : *Pinus* 11 %, *Quercus* 6 %) que parmi les plus méridionaux (lat. env. 45° N.) (Ba2 : *Pinus* 7 %, *Quercus* 4 %). À l'inverse, les herbes sont légèrement plus abondantes dans le groupe Ba2 (80 %) que dans le groupe Ba1 (70 %). Les sites de ce groupe appartiennent à la prairie canadienne et ils ne sont pas utiles à la présente recherche. Ils sont inclus dans notre base de données modernes simplement parce qu'ils étaient à l'intérieur de ses limites géographiques, c.-à-d. à l'est du 100° méridien et au nord du 44° parallèle. Le biome de ces sites n'était pas spécifié dans la base de données modernes d'origine de Whitmore *et al.* (2005).

Le groupe de sites de l'**est de la forêt mixte (Bb)** a été scindé en 4 (Bb1, Bb2, Bb3 et Bb4). Le pollen de *Betula* domine ce groupe (40 %, Figure 9b). Tout comme pour l'est de la forêt boréale (Aa2), le groupement des sites de l'est de la forêt mixte (Bb) n'est pas aussi bien délimité dans l'espace que celui des sites de l'ouest (Bc) (figure 9c). Dans l'ensemble, les sites des groupes Bb1 et Bb4 sont situés plus à l'est (long. env. 68° O.) que ceux des groupes Bb2 et Bb3 (long. env. 74° O.). L'abondance du pollen de *Betula* ne permet pas de distinguer clairement les 4 groupes, même si le pourcentage de *Betula* est le plus élevé dans le groupe Bb1 (> 45 %), qui regroupe des sites principalement situés dans les provinces maritimes canadiennes et en Gaspésie, alors que le pourcentage moyen de *Betula* dans les sites des 3 autres groupes est < 35 %. La distinction pollinique entre les 4 sites est plutôt mise en évidence par la fréquence des taxons faiblement représentés,

par exemple *Abies*, *Acer* et *Fagus* (figure 9d). Le pollen d'*Alnus crispa* atteint un maximum dans le groupe Bb1 (5 %), de 1 % dans les groupes Bb2 et Bb3, et est presque complètement absent du groupe Bb4. Dans ce groupe, également dans l'est du territoire, c'est plutôt le pollen d'*Alnus incana* qui est bien représenté (5 %).

L'assemblage du groupe **Bb4** se distingue de celui des autres groupes par des pourcentages élevés de Cupressaceae (10 %), d'*Abies* (> 5 %) et de *Picea* (20 %) et par un très faible pourcentage de *Pinus* (< 5 %). En comparaison, le pourcentage de *Pinus* est > 10 % parmi les sites des 3 autres groupes. Les sites du groupe Bb4 sont concentrés dans le Maine, aux États-Unis. Les grains de *Picea* observés dans ce groupe proviennent sans doute d'épinettes rouges (*Picea rubens*).

C'est dans les sites du groupe **Bb3** que le pollen d'*Acer*, celui de *Fagus*, celui de *Quercus* et celui de *Tsuga* sont les plus abondants (4 %, 6 %, 4 % et 10 %, respectivement, figure 9d). Le pourcentage d'*Abies* est minimal dans ce groupe (1,5 %). Les sites du groupe Bb3 ont une répartition aléatoire, mais la majeure partie est concentrée à la limite sud de notre base de données, c.-à-d. à proximité de 44° de latitude N.

L'assemblage pollinique des sites du groupe **Bb2** est particulier. Le pollen herbacé y est très abondant (> 25 %), notamment celui d'*Ambrosia* (herbe à poux) et celui de Poaceae (figure 9d). Les sites de ce groupe occupent la vallée du Saint-Laurent, plus particulièrement les régions de Charlevoix et de Kamouraska (figure 9c). L'abondance du pollen herbacé laisse penser que l'assemblage pollinique des sites de ce groupe traduit un impact anthropique, sans doute lié à l'agriculture et aux grands axes routiers présents dans la région. Toutefois, tout comme pour le groupe Ab2, le milieu de dépôt pourrait également expliquer ce groupement de sites, riches en herbes (annexe 4). En effet, plus de 75 % des sites du groupe Bb2 proviennent de cousinets de mousses et de tourbières, alors que moins de 10 % de sites des autres groupes (Bb1 : 8 %, Bb3 : 2 % et Bb4 : 0 %) proviennent de ces milieux de dépôt. Nous ne croyons pas que la signature pollinique des sites du groupe Bb2 reflète bien la végétation environnante, qui en est une de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj).

Les sites des provinces maritimes (**Bb1**) appartiennent, quant à eux, à la sapinière à bouleau jaune (SBj). Les sites plus à l'ouest, dans le Maine (Bb4), appartiennent à l'érablière à bouleau jaune (EBj).

Finalement, les sites les plus au sud, le long du 44° parallèle (Bb3), appartiennent aux érablières, notamment à l'érablière à tilleul (ET).

Le groupe de sites de l'**ouest de la forêt mixte (Bc)** a été divisé en deux (Bc1 et Bc2). Le pollen de *Pinus* y domine (45 %, figure 9b). Tout comme pour l'ouest de la forêt boréale (groupe Aa1), la division du groupe en deux est en étroite relation avec la latitude. Le groupe Bc1 est le plus méridional (lat. 46° N.), avec des sites concentrés dans la région des Grands Lacs et le long du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais (figure 9c). Les sites du groupe Bc2, plus au nord (lat. 48° N.), sont concentrés en Abitibi et sa contrepartie ontarienne, et entre le lac Supérieur et le lac Winnipeg (figure 9c). Tout comme pour l'est de la forêt mixte (Bb), ce n'est pas l'abondance du taxon dominant, ici *Pinus*, qui permet de distinguer les deux groupes (Bc1 : 35 %, Bc2 : 45 %). Les sites méridionaux (Bc1) se distinguent plutôt par un plus fort pourcentage de pollen d'arbres thermophiles, notamment *Acer* (Bc1 : 2,5 %, Bc2 : 0,5 %) et *Quercus* (Bc1 : 6,5 %, Bc2 : 1,5 %), et par un pourcentage plus faible de *Picea* (Bc1 : < 5 %, Bc2 : > 10 %). Le pourcentage de *Tsuga* y est également plus important (Bc1 : 4,5 %, Bc2 : < 0,5 %). Dans l'ensemble, le pourcentage d'*Abies* est comparable dans les deux groupes (Bc1 : 1 %, Bc2 : 2 %); toutefois, c'est parmi les sites du groupe Bc2, plus nordiques, que des valeurs > 10 % sont parfois observées (supplément 1b), alors que la fréquence maximale enregistrée parmi les sites du groupe Bc1 n'excède pas 5 % (supplément 1b). Les sites du groupe Bc1, dans la région des Grands Lacs, appartiennent à la sapinière à bouleau jaune et à l'érablière à bouleau jaune (SBj/EBj). Ceux du groupe Bc2 appartiennent à la sapinière à bouleau jaune et à la sapinière à bouleau blanc (SBb/SBj; figure 9c), sauf un petit nombre qui appartient à la pessière à mousses (PM). Leur contenu pollinique est comparable à celui des sites du groupe Aa1b (PM/SBb), dans le sud de la forêt boréale. Les sites du groupe Bc2 montrent toutefois des pourcentages de *Picea* plus faibles (15 %) que ceux du groupe Aa1b (35 %) (figure 9d).

4.1.2 Taxons indicateurs à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec

L'analyse des assemblages polliniques de la végétation actuelle présentée à la section précédente a montré que certains taxons sont communs à tous les domaines bioclimatiques, alors que d'autres sont plutôt associés à un domaine en particulier. Ces derniers taxons sont des taxons guides; le nom du domaine dans lequel ils abondent y réfère généralement (p.ex. *Picea*, *Abies*, *Acer* et *Alnus crispa*).

Le pollen de *Picea* domine l'assemblage des sites de la pessière à mousses et de la pessière à lichens. Le pollen d'*Abies*, quoique faiblement représenté, est abondant dans les sapinières. C'est dans les érablières que le pollen d'*Acer* est le plus abondant. Finalement, le pollen d'*Alnus crispa* est abondant dans la toundra forestière et dans la pessière à lichens.

Le pollen de *Betula* et celui de *Pinus* sont communs à l'ensemble des sites du territoire et ne permettent pas de bien distinguer les domaines bioclimatiques. Le pollen de *Betula* est plus abondant dans l'est du territoire, alors que celui de *Pinus* est plus abondant dans l'ouest. Toutefois, même en tenant compte de cette distinction pollinique entre l'est et l'ouest du territoire, il est difficile d'identifier une végétation uniquement à l'aide de ces deux taxons. Il existe différentes espèces de bouleaux et de pins sur le territoire couvert par les 1 010 sites de la base de données modernes. Malheureusement, leur pollen a dû être groupé au niveau du genre (*Betula* et *Pinus*) dans la base de données (annexe 1). Par exemple, le pollen de *Betula* est abondant à la fois dans la toundra forestière, dans les sapinières et dans les érablières. Dans les régions nordiques, le pollen de *Betula* observé provient sans doute de bouleaux arbustifs et de bouleaux blancs, alors que celui observé dans les érablières provient manifestement de bouleaux jaunes. Quant à lui, le pollen de *Pinus* est abondant dans la pessière à lichens à l'érablière à bouleau jaune. Dans la pessière, il provient sans doute de pins gris, alors que dans les sites plus au sud, il représente probablement des pins blancs.

L'identification du pollen de *Betula* et de *Pinus* au niveau de l'espèce ou, du moins, de groupes d'espèces est pourtant possible et relativement aisée (Marcoux et Richard 1993, Richard 1970); elle est régulièrement pratiquée au Laboratoire Jacques-Rousseau de l'Université de Montréal et par les chercheurs qui en sont issus. Elle permet de mieux distinguer les domaines bioclimatiques (Richard 1977). Hélas, cette précision de détermination taxonomique n'est pas généralisée dans l'ensemble des bases de données modernes et postglaciaires que nous avons dû utiliser pour la présente recherche. En conséquence, aux fins de notre synthèse, le pollen des seuls genres *Betula* et *Pinus* ne nous renseigne pas bien sur la végétation d'un site. Par contre, en combinaison avec les taxons guides, notamment *Picea*, l'abondance de ces deux taxons, dont le pollen est surreprésenté, devient une information utile.

4.1.3 Assemblage pollinique type à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec

L'assemblage pollinique type (ou la signature pollinique) des végétations à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec est présenté au tableau 3. La caractérisation des assemblages polliniques des unités de végétation du Québec est basée à la fois sur celui des 15 groupes d'assemblages (et de végétations) des 1 010 sites de la base de données modernes et sur celui des sédiments de surface des 26 sites postglaciaires des pessières et sapinières de l'ouest du Québec. Les taxons indicateurs discutés à la section précédente ont été considérés à la description de ces assemblages.

Tableau 3. Caractérisation de l'assemblage pollinique type des végétations à l'échelle des domaines bioclimatiques du Québec. Les taxons indicateurs (ou guides) sont en caractères gras.

Végétation	Assemblage pollinique type
Toundra forestière (TF)	<i>Alnus crispa</i> - <i>Betula</i> - <i>Picea</i>
TF/PL	<i>Betula</i> - <i>Picea</i> - <i>Alnus crispa</i> ; <i>Alnus crispa</i> - <i>Picea</i> - <i>Betula</i>
Pessière à lichens (PL)	<i>Picea</i> - <i>Alnus crispa</i> - <i>Betula</i> (très peu de <i>Pinus</i>)
Pessière à mousses (PM)	<i>Picea</i> - <i>Betula</i> - <i>Pinus</i> (très peu d' <i>Alnus crispa</i>)
PM/SBb	<i>Picea</i> - <i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - (<i>Abies</i>)
Sapinière à bouleau blanc (SBb)	<i>Pinus</i> - <i>Picea</i> - <i>Betula</i> ; <i>Betula</i> - <i>Picea</i> - <i>Pinus</i>
SBb — Ouest	<i>Pinus</i> - <i>Picea</i> - <i>Betula</i> (<i>Populus</i>)
SBb — Est	<i>Betula</i> - <i>Picea</i> - <i>Pinus</i> (<i>Abies</i>)
SBb/SBj	<i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - <i>Picea</i> ; <i>Betula</i> - <i>Pinus</i> - <i>Picea</i>
Sapinière à bouleau jaune (SBj)	<i>Pinus</i> - <i>Betula</i> ; <i>Betula</i> - <i>Pinus</i> (très peu de <i>Picea</i>)
SBj — Ouest	<i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - (<i>Quercus</i>) (très peu de <i>Picea</i>)
SBj — Est	<i>Betula</i> - <i>Pinus</i> (<i>Acer</i>) (très peu de <i>Picea</i>)
Érablières	<i>Pinus</i> - <i>Betula</i> - <i>Picea</i> (<i>Quercus</i> - <i>Tsuga</i> - <i>Fagus</i> - <i>Abies</i> - <i>Acer</i>)

L'assemblage pollinique de la **toundra forestière** (TF) est caractérisé par le pollen d'*Alnus crispa*, de *Betula* et de *Picea*. Le pourcentage des arbustes domine celui de *Picea*. Le pourcentage de plantes herbacées est élevé (> 15 %). Lorsque ces trois taxons sont abondants, mais que le pourcentage de l'épinette noire (*Picea*) excède celui des arbustes (*Betula* et *Alnus crispa*), l'assemblage reflète plutôt une végétation de pessière à lichens (PL). Le pourcentage de *Pinus* est faible (< 10 %) dans la PL. Si le pollen des arbustes domine l'assemblage, mais que le pourcentage des herbes est faible, il s'agit sans doute d'une végétation de transition (TF/PL). De la TF à la PL, le pourcentage de *Picea* augmente continuellement (TF : < 20-25 %, PL : > 35-40 %).

Le pollen de *Picea* (env. 50 %) domine l'assemblage de la **pessière à mousses** (PM). Son pourcentage est comparable à celui de la PL, tout comme celui de *Betula*. La distinction pollinique entre la PL et la PM est plutôt liée à l'abondance du pollen d'*Alnus crispa* et de *Pinus*. Comparativement à la PL, le pourcentage d'*Alnus crispa* est faible (< 15 %) dans la PM, alors que celui de *Pinus* est plus important, notamment dans l'ouest du territoire. Par prudence, il est préférable de réunir les deux types de végétation (PL/PM) lors de l'interprétation. La densité du couvert forestier affecte l'assemblage pollinique d'un site. Par exemple, dans une PM ouverte, l'abondance de *Betula* (ou *Pinus*) excède généralement celle de *Picea*, mais le pollen d'*Alnus* reste faiblement représenté en comparaison avec la PL. Cette situation est généralement corroborée par un faible TAP total du sédiment dans la pessière à lichens.

Il est relativement facile de distinguer la **sapinière à bouleau blanc** (SBb) de la PM à partir des assemblages polliniques en s'appuyant sur la représentation pollinique d'*Abies balsamea*. Autrement, l'assemblage pollinique des deux domaines bioclimatiques est très semblable. Les groupes d'assemblages polliniques modernes chevauchent généralement les deux sortes de végétation (voir la répartition des sites à la figure 9c). Dans la SBb, les pourcentages de *Betula* (dans l'est) et de *Pinus* (dans l'ouest) excèdent généralement celui de *Picea*. Le pourcentage d'*Alnus crispa* y est très faible (< 5 %) en comparaison avec celui dans la PM, mais le pollen d'*Abies* est toujours présent (env. 2 %). Le pourcentage de *Betula* excède également celui de *Picea* dans la PM ouverte, mais le pourcentage des arbustes, notamment d'*Alnus crispa*, y est plus important que dans la SBb, et le pollen d'*Abies* est généralement absent. Si les grains de *Picea*, de *Betula* et de *Pinus* (dans l'ordre ou le désordre) sont abondants, l'assemblage reflète sans doute une

végétation de transition (PM/SBb). Dans la PM/SBb, le pourcentage de *Picea* est d'env. 40 %, alors qu'il est généralement < 35 % dans la SBb. Le pourcentage d'*Alnus crispa* est < 10 % dans la PM/SBb. Cette végétation de transition est généralement corroborée par des valeurs de GDD5 avoisinant 1 100 degrés-jours (annexe 4). De façon générale, le nombre de GDD5 de la forêt boréale (PM-PL) oscille entre 900 et 1 200 degrés-jours, alors que dans la forêt mixte (SBb-SBj-érablière), on compte plus de 1 200 degrés-jours (Prentice et al. 1992).

Le pourcentage de *Picea* est très faible (< 10 %) dans la **sapinière à bouleau jaune** (SBj). Le pollen de *Quercus* (dans l'ouest) et d'*Acer* (dans l'est) est plus abondant que dans la SBb. Ce sont les grains de *Betula* et de *Pinus (strobis)* qui caractérisent le mieux les assemblages de la SBj. Dans l'est, le pourcentage de *Betula* atteint 50 %, alors qu'un aussi fort pourcentage est observé pour *Pinus* dans l'ouest. Lorsque le pollen de *Betula* ou de *Pinus* est abondant, que le pourcentage d'*Alnus crispa* est très faible (< 5 %) et que celui de *Picea* oscille entre 15 et 20 %, il s'agit sans doute d'une végétation de transition (SBb/SBj). Le pourcentage d'*Abies* (env. 4 %) est plus élevé dans la SBj que dans la SBb.

La signature pollinique des **érablières** est plus ou moins bien définie, car notre base de données ne s'étend pas en deçà de 44° de latitude N. Or, les érablières sont répandues au sud de cette latitude. Le pollen de *Betula* domine les assemblages dans l'est, et celui de *Pinus* domine dans l'ouest. Toutefois, leur pourcentage (env. 35 %) est moindre que dans la SBj. Parmi les sites de notre base de données, c'est dans les érablières que le pourcentage d'*Acer* (essentiellement d'*Acer saccharum*) est le plus élevé (env. 3 %). En comparaison, le pourcentage d'*Acer* est moindre dans la SBj (env. 1 %). Les pourcentages de *Quercus*, de *Tsuga*, de *Fagus* et d'*Abies* sont élevés dans les érablières. Le pollen d'*Alnus crispa*, si observé, se limite à des traces (< 1 %).

4.2 Données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec

L'étude des assemblages polliniques modernes a montré qu'il existe un lien entre un assemblage pollinique de surface et la végétation de la toundra forestière, de la forêt boréale et de la forêt mixte de l'est du Canada. L'existence de ce lien autorise la reconstitution de la végétation des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec à partir de leurs assemblages polliniques.

La description des données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec est basée sur les résultats des 8 sites les plus représentatifs des 8 secteurs considérés par la suite, à la section 4.3.1, pour le résumé de la palynostratigraphie des sites.

Le climat postglaciaire a été reconstitué aux 26 sites du territoire d'étude par la méthode des analogues modernes; le résultat est détaillé au supplément 3 (disponible sur demande). Le degré de fiabilité (r^2 et RMSE) des reconstitutions climatiques est donné à l'annexe 8. Par exemple, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de la MTWA est de $\pm 1,2$ °C, et celle des PANN est de ± 120 mm. Dans l'ensemble, les reconstitutions climatiques des 26 sites sont fiables, en ce sens que les analogues modernes retenus ont une faible dissimilarité (SCD) avec les assemblages polliniques postglaciaires des sites. Leur SCD avec les assemblages postglaciaires est généralement $< 0,15$, bien en deçà du seuil d'acceptabilité fixé à 0,29 pour la validité d'un assemblage pollinique moderne pour la reconstitution du climat postglaciaire des sites. La SCD des assemblages polliniques est toutefois plus élevée dans le sédiment minéral à la base que dans le sédiment organique supérieur.

La végétation postglaciaire a été reconstituée aux 26 sites de l'ouest du Québec à l'échelle des ZAP, et le résultat est livré sommairement à l'annexe 7 (voir la colonne Groupe K-means livrant la provenance des analogues modernes).

4.2.1 Assemblages polliniques des sédiments de surface

L'assemblage pollinique « moderne » des 26 sites de l'ouest du Québec à l'étude est illustré sur le diagramme de la figure 11b, et l'assemblage pollinique des sous-domaines bioclimatiques de l'ouest du Québec est décrit à la figure 11c. La concentration pollinique du sédiment de surface, donnée à la droite du diagramme, est tributaire du nombre d'années compris dans le centimètre cube de sédiment analysé et de la plus ou moins grande capacité des milieux de dépôt à concentrer le pollen; elle ne peut donc être utilisée pour distinguer les sites. La profondeur des 26 assemblages sommitaux illustrés est donnée à la gauche du diagramme. Pour quelques sites (LG405, LG401P, CLO, COUCH, VAL1, CGC27, BRIDE), l'assemblage pollinique illustré n'est pas vraiment celui du sédiment de la surface (profondeur : env. 0-5 cm) en raison de difficultés d'échantillonnage de sédiments trop fluides, mais il devrait sans doute y ressembler.

Les sites du **domaine de la PL** ($n = 8$) sont dominés par le pollen de *Picea* (40 %) (figure 11b). Le

pollen d'*Alnus crispa* (20 %), celui de *Betula* (20 %) et celui de *Pinus banksiana* (10 %) sont également abondants. Dans l'ensemble, du nord (p. ex. LG409) au sud (p. ex. LG412), on observe une augmentation du pourcentage de *Picea* concomitante à une diminution d'*Alnus crispa*. Le pourcentage de *Betula* est assez constant dans tous les sites de la PL, et celui de *Pinus banksiana* est plus élevé dans le sud de la région.

Les sites du **domaine de la PM** ($n = 4$) sont également dominés par le pollen de *Picea* (45 %), mais en comparaison avec les sites de la PL, le pollen d'*Alnus crispa* y est rare (< 5 %) (figure 11b). *Picea* est plus abondant dans l'ouest (CRATES et PESS : 55 %) que dans l'est (CH2 et DES : 35 %) de la région. À l'inverse, *Betula* est plus abondant dans l'est (25 %) que dans l'ouest (10 %). Le pourcentage de *Pinus banksiana* (10 %) est comparable à celui des sites du secteur Sud de la PL. Le pollen d'*Abies* est présent.

Les sites du **domaine de la SBb** ($n = 10$) sont riches en *Betula* (35 %), en *Picea* (15 %) et en *Pinus banksiana* (10 %) (figure 11b). Ce sont les pourcentages de *Pinus banksiana* et de *Betula* qui distinguent les sites de l'ouest (SIX, YELLE, FRANC, CLO, PFOND) de ceux de l'est (SFS, PRU, COUCH, FLEVY, VAL1). Les sites du secteur Ouest, au climat plus sec (PANN : env. 900 mm; tableau 2), sont riches en *Pinus banksiana* (20 %), alors que ceux du secteur Est, au climat plus humide (PANN : env. 1 050 mm; tableau 2), sont dominés par le pollen de *Betula* (50 %). Le pollen de *Populus* est légèrement plus abondant dans le secteur Ouest (2 %) que dans le secteur Est (1 %), tout comme le pollen de *Picea* (20 % dans le secteur Ouest). Le pollen d'*Abies* est présent (2 %); son abondance est comparable dans les deux secteurs.

Les sites du **domaine de la SBj** ($n = 4$) sont, dans l'ensemble, plus riches en *Pinus strobus* et en *Abies* que les sites de la SBb (figure 11b). Le pollen de *Betula* (35 %) et celui de *Pinus* spp. (30 %) dominent les assemblages. Tout comme pour les sites de la SBb, le pollen de *Betula* est plus abondant dans le secteur Est (BRIDE et MART : 45 %) que dans le secteur Ouest (LOUIS et CGC27 : 30 %). Contrairement à ce qu'on observe dans la SBb, le pourcentage de *Pinus* ne permet pas de bien distinguer les deux secteurs de la SBj. Nous pouvons tout de même remarquer que le pollen de *Pinus* spp. est légèrement plus abondant dans le secteur Ouest (> 30 %) que dans le secteur Est (< 30 %) de la SBj. Parmi tous les sites ($n = 26$), c'est dans la SBj que le pourcentage de *Picea* est le plus faible (10 %) et que celui des arbres thermophiles

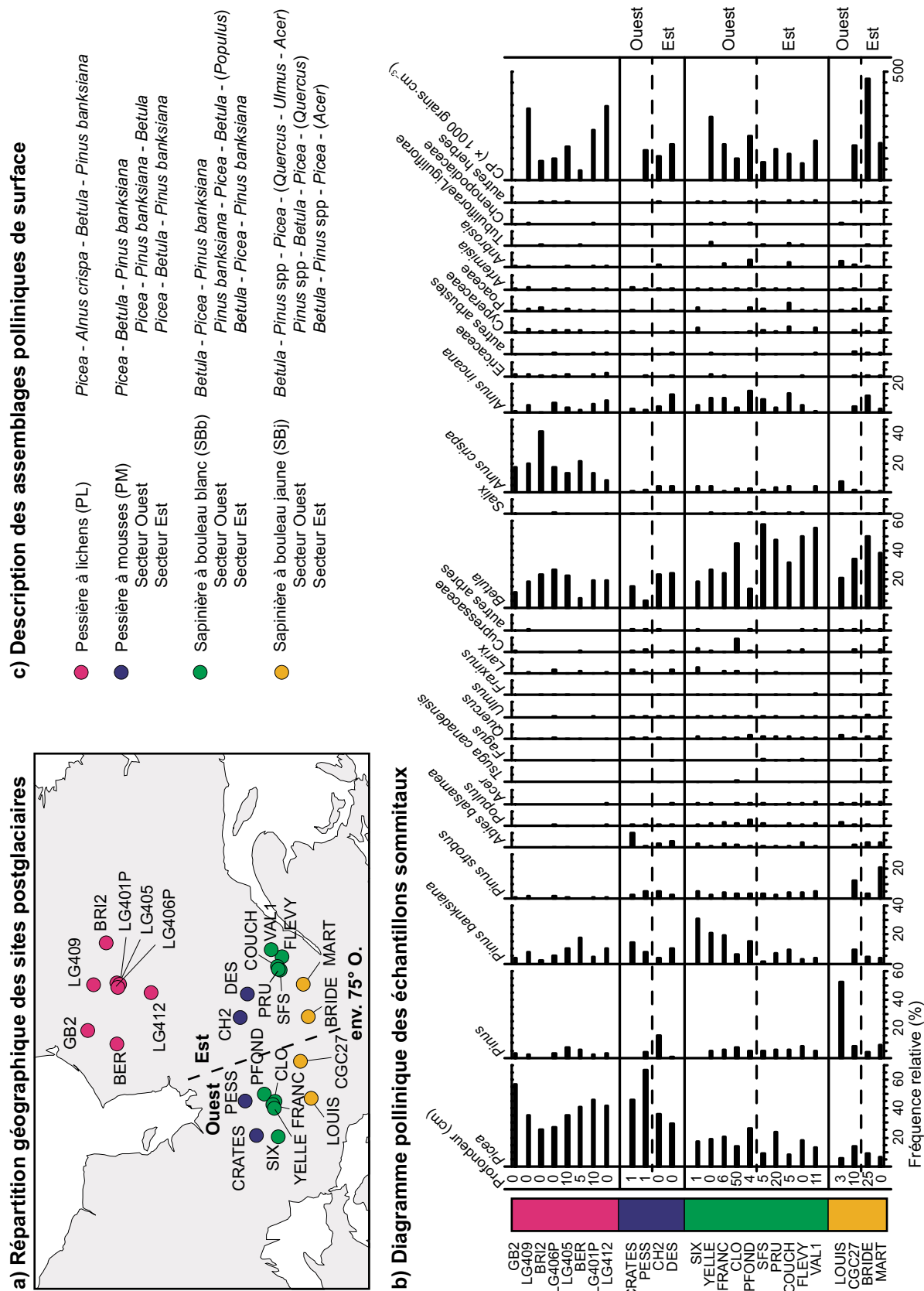


Figure 11. Assemblage pollinique des sédiments de surface des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec. a) Répartition géographique des 26 sites. b) Diagramme pollinique des échantillons sommitaux des 26 sites, avec mention de la concentration pollinique du sédiment (à droite) et de la profondeur de l'échantillon (à gauche). Les lignes horizontales en trait plein délimitent les domaines bioclimatiques, et les lignes pointillées séparent les sites des secteurs Est et Ouest, de part et d'autre de la longitude 75° O. Les sites de la PL sont ordonnés selon leur latitude, tandis que ceux de la PM, de la SBb et de la SBj sont ordonnés selon leur longitude. c) Description de l'assemblage pollinique moderne de la PL, de la PM, de la SBb et de la SBj de l'ouest du Québec, ainsi que celle des secteurs Ouest et Est.

comme *Acer*, *Quercus* et *Ulmus* est le plus élevé (env. 4,5 %, comparativement à 2,5 % dans la SBb, 2 % dans la PM et 0,5 % dans la PL).

4.2.2 Courbe pollinique des taxons indicateurs

Les courbes polliniques postglaciaires d'*Alnus crispa*, de *Picea mariana*, d'*Abies balsamea*, de *Betula*, de *Pinus banksiana* et de *Pinus strobus* sont données à la figure 12. Le résultat, exprimé en pourcentage, est présenté pour un site par secteur ($n = 8$). La comparaison des courbes polliniques des sites souligne le synchronisme ou l'asynchronisme de la dynamique temporelle des taxons polliniques à travers le territoire. Le contraste de végétation entre l'ouest et l'est du territoire est bien illustré par les courbes polliniques de *Betula* et de *Pinus*. La comparaison des courbes polliniques des taxons montre aussi que la représentation pollinique postglaciaire des sites des domaines de la pessière (PL et PM : LG409, LG412, PESS, CH2) est bien distincte de celle des sites des domaines de la sapinière (SBb et SBj : FRANC, PRU, CGC27, MART).

Le pollen d'*Alnus crispa* est abondant dans les sites de la PL (LG409, LG412; figure 12). Son pourcentage y est maximal à la base des deux séquences (pré-5 000 ans AA), puis diminue continuellement jusqu'au sommet, tout en demeurant supérieur à 10 %. Le pollen d'*Alnus crispa* est également abondant (> 10 %) dans les sédiments basaux (10 000-8 000 ans AA) des sites de la SBj (CGC27, MART). Les sédiments pré-8 000 ans AA des sites CH2 (PM-est) et PRU (SBb-est) montrent également une certaine abondance (env. 5 %) de ce taxon. Dans la base de données modernes, des fréquences d'*Alnus crispa* > 10 % sont observées pour les groupes modernes appartenant à la toundra forestière (Ab1 : 20 %) et à la pessière à lichens (Aa2b : 15 %; Aa1a : 15 %) (figure 9d). L'aire de peuplement de l'aulne crispé couvre entièrement le Québec, les provinces maritimes et la Nouvelle-Angleterre et dépasse la limite nordique des essences arborescentes au Québec. C'est une espèce boréale transcontinentale à l'échelle canadienne, représentée par diverses sous-espèces. Intolérants à l'ombre, les buissons colonisent principalement les stations mésiques et sèches, sauf à la limite nord de l'aire de répartition de l'espèce, où ils occupent les dépressions plus humides du terrain. Cette espèce pionnière contribue à fixer l'azote atmosphérique dans les sols. Elle est fortement surreprésentée par son pollen (Ritchie 1987). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, un pourcentage élevé d'*Alnus crispa* est généralement associé à une phase d'afforestation (Richard 1977, Ritchie 1987). Les pourcentages élevés de pollen des arbustes pionniers comme celui d'*Alnus*

crispa, à la base des diagrammes polliniques (p. ex. CGC27, MART), témoignent de l'immigration des plantes lors du retrait des glaces.

Le pollen de *Picea mariana* domine les sites de la pessière (PL : LG409, LG412 et PM : PESS, CH2; figure 12). Dans la PL et la PM, le pourcentage de *Picea* augmente à la base des séquences et il est maximal vers 3 500 ans AA (50 %). Depuis lors, et jusqu'à aujourd'hui, la proportion du pollen de *Picea* est relativement stable. Par contraste, dans les sites de la SBb (FRANC, PRU) et de la SBj (CGC27, MART), une augmentation récente du pollen de *Picea* est visible, mais plus tardivement (vers 2 500 ans AA). Dans la SBb-E (PRU) et la SBj-E (MART), le pourcentage de *Picea* est > 10 % dans le sédiment pré-8 000 ans AA. Dans la SBjO (CGC27), pour la même période, il oscille entre 5 et 10 %. Dans la base de données modernes, des fréquences élevées de *Picea* sont observées pour les groupes associés à la forêt boréale (Aa : 50 %) (figure 9b). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires des lacs, un pourcentage élevé de *Picea* est généralement associé à une végétation de pessière (Richard 1977). Dans la forêt boréale, le pourcentage de *Picea* varie souvent en fonction de la proportion du pollen de *Betula* dans l'assemblage pollinique. L'abondance du pollen de *Picea* observée à la base des diagrammes reflète l'immigration de l'espèce sur le territoire (Richard 1977). L'observation de pollen de *Picea* à la base des séquences sédimentaires des sites à l'étude suggère une arrivée précoce de l'épinette noire sur le territoire récemment déglacé.

Le pollen d'*Abies balsamea* n'est relativement bien représenté (≤ 7 %) que dans les sites de la sapinière (SBb : FRANC, PRU et SBj : CGC27, MART; figure 12), avec un pourcentage maximal à la base des séquences, dans le sédiment pré-7 000 ans AA, et au sommet, dans le sédiment post-4 000 ans AA. Une légère augmentation du pourcentage d'*Abies balsamea* est également visible dans les sédiments sommitaux des sites de la PM (PESS, CH2). Dans la base de données modernes, des fréquences d'*Abies* > 5 % sont observées pour les groupes Aa1b et Aa2c, associés à la PM/SBb de l'est et de l'ouest du territoire, et dans les groupes Bb1, Bb2 et Bb4, de l'est de la forêt mixte (SBj, SBb/SBj et EBJ, respectivement; figure 9d). Le sapin est une espèce fortement sous-représentée par son pollen (Richard 1968, 1976, 1977, Ritchie 1987). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, des pourcentages continus d'*Abies* dans le temps, même faibles, traduisent une présence soutenue du sapin dans la région. Dans les diagrammes des sites de la forêt mixte, la courbe d'*Abies* est souvent anticorrélative à celle de *Pinus strobus* (Richard 1977).

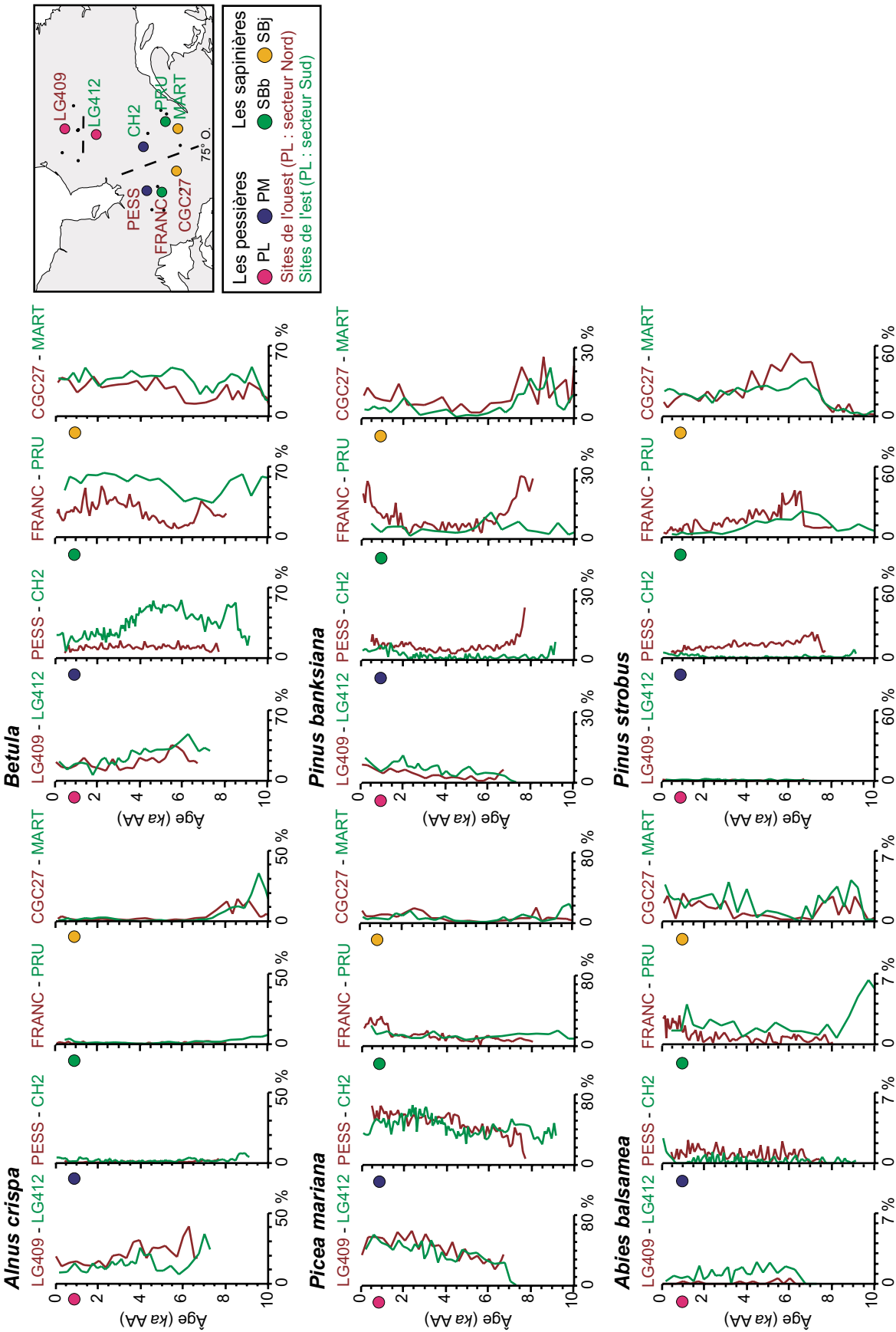


Figure 12. Courbes polliniques (pourcentage en fonction de l'âge des sédiments) des principaux taxons arborés et arbustifs (taxons indicateurs des pessières (PL, PM) et des sapinières (SBb, SBj) de l'ouest du Québec depuis la déglaciation. Pour chaque domaine bioclimatique (cercles de couleur), la représentation du taxon à un site à l'est de la longitude 75° O. (secteur Est : lignes et texte en vert) est comparée à celle d'un site à l'ouest de la longitude 75° O. (secteur Ouest : lignes et texte en rouge). Pour la PL, la comparaison est plutôt entre les secteurs Nord (rouge) et Sud (vert). L'emplacement des 8 sites retenus est illustré sur la carte de droite.

Le pollen de *Betula* domine les sites du secteur Est du territoire (CH2, PRU, MART; en vert sur la figure 12). Depuis environ 6000 ans AA, l'abondance du pollen de *Betula* diminue parmi les sites de la PL (LG409, LG412) et de la PM-E (CH2). En contraste, on observe une augmentation de *Betula* dans les sites de la SBb (FRANC, PRU) et de la SBj (CGC27, MART). Dans la SBb et la SBj, les fréquences de *Betula* sont maximales (> 30 %) depuis env. 4000 ans AA. Le pourcentage de *Betula* est également abondant à la base des séquences, dans le sédiment pré-8000 ans AA. Dans la base de données modernes, des fréquences élevées de *Betula* (> 35 %) sont observées pour les groupes Bb1, Bb3 et Bb4 de l'est de la forêt mixte (SBj, ET et EBj, respectivement) (figure 9d). Contrairement au sapin baumier, les espèces de bouleaux sont fortement surreprésentées par leur pollen (Richard 1968, 1977, 1978, Ritchie 1987). Les différentes espèces de bouleaux se distinguent difficilement par leur morphologie pollinique, mais le diamètre des grains permet de distinguer au moins des groupes d'espèces (Marcoux et Richard 1993, Richard 1970). Les grains de pollen de petite taille (< 21 µm) sont généralement associés à des bouleaux arbustifs (*Betula glandulosa* Michx.). Les grains de taille intermédiaire (21-25 µm) sont associés au bouleau blanc, et ceux de grande taille (> 25 µm) sont associés au bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.). La taille des grains de pollen de *Betula* n'est malheureusement pas indiquée dans la base de données modernes de Whitmore *et al.* (2005). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, la taille des grains de pollen de *Betula* demeure une information utile, mais c'est principalement l'identification du pollen des autres espèces d'arbres présentes dans l'assemblage qui permet d'interpréter la courbe pollinique du bouleau quand l'identification se limite au genre (Richard 1977). Actuellement, pour les sites FRANC, PRU, CGC27 et MART, la présence universelle du bouleau blanc dans les groupements forestiers de la SBb et de la SBj du territoire d'étude explique sans doute pourquoi les courbes polliniques de *Betula* sont relativement uniformes depuis env. 4000 ans AA.

Le pollen de *Pinus* domine les sites de l'ouest du territoire (PESS, FRANC, CGC27; en rouge sur la figure 12). Pour les sites postglaciaires, deux espèces de pins ont été distinguées : *Pinus banksiana* et *Pinus strobus*. Dans la base de données modernes, tous les grains de pollen de *Pinus* ont dû être regroupés (annexe 1). Le pollen du genre *Pinus* est abondant (> 35 %) dans les sites de l'ouest de la forêt boréale et de la forêt mixte, plus particulièrement dans les groupes modernes Aa1b (PM/SBb), Bc1 (SBj/EBj) et Bc2 (SBb/SBj) (figure 9d). Le pourcentage de *Pinus* est maximal (45 %) dans la SBb/SBj (groupe Bc2).

Pour tous les sites postglaciaires, la proportion de pollen de *Pinus banksiana* s'accroît au sommet des séquences, dans le sédiment post-2000 ans AA (figure 12). Dans la PL (LG409, LG412) et la SBj (CGC27, MART), une augmentation des pourcentages de *Pinus banksiana* est toutefois visible depuis environ 4000 ans AA. Dans la PM, la SBb et la SBj, le pollen de *Pinus banksiana* est également abondant à la base des séquences, dans les sédiments pré-7000 ans AA. Les sites CH2 et PRU (secteurs PM-E et SBb-E) ne montrent toutefois pas de pourcentages plus élevés de *Pinus banksiana* à la base, ce qui traduit sans doute la colonisation tardive par le pin gris de la partie nord-est de son aire de peuplement. Dans ces deux sites, ce sont plutôt les pourcentages de *Picea* qui sont relativement élevés dans les sédiments basaux. Le pin gris est un arbre pionnier après feu. Il atteint facilement l'âge de 70 ans. Dans la succession, il est le plus souvent remplacé par des peuplements dominés par l'épinette noire ou le sapin baumier (Richard 1977). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, les maxima polliniques de *Pinus banksiana* sont généralement associés à des conditions d'instabilité dans la couverture végétale (Richard 1977).

Dans presque tous les sites, la fréquence du pollen de *Pinus strobus* augmente abruptement vers 7500 ans AA (figure 12). Par la suite, on note une diminution graduelle de son pourcentage jusqu'au sommet des séquences. Les pourcentages sont notamment plus faibles après env. 4000 ans AA. Le pourcentage de *Pinus strobus* est plus élevé dans les sites de la SBj (env. 35 %; CGC27, MART) que dans ceux de la SBb (env. 25 %; FRANC, PRU). Le pollen de *Pinus strobus* est rare dans les sites de la PL (LG409, LG412). Dans la PM, il n'excède pas 20 % dans le secteur Ouest (PESS), et 5 % dans le secteur Est (CH2). Le pin blanc est une espèce plus tolérante à des conditions d'instabilité que le pin gris. Sa longévité est grande; il atteint aisément 200 ans, et parfois même plus de 450 ans. Au Québec, son aire de répartition actuelle est centrée dans les domaines de l'érablière et de la sapinière à bouleau jaune (Richard 1977). Tout comme les bouleaux, c'est une espèce surreprésentée par son pollen (Davis 1963, Richard 1978, Ritchie 1987). Dans les diagrammes polliniques postglaciaires, des pourcentages de *Pinus strobus* inférieurs à 20 ou 30 % peuvent être attribués essentiellement à des apports issus de populations lointaines (p. ex. Davis 1963). Dans les diagrammes du sud du Québec, *Pinus strobus* atteint des pourcentages élevés au début de la phase forestière (Richard 1977). Les maxima de *Pinus strobus* observés dans les sites les plus méridionaux du territoire à l'étude témoignent de la présence accrue, bien que non

abondante, du pin blanc dans les groupements végétaux de l'époque.

Le pollen de *Populus* (*P. tremuloïdes*) est généralement abondant à la base des séquences des sites postglaciaires (voir la figure 14). Toutefois, la représentation pollinique (en %) du peuplier faux-tremble est trop problématique pour qu'on s'y fie dans la comparaison des sites qui est faite à la figure 12 (Mott 1978). Néanmoins, il s'agit d'un taxon indicateur de conditions ouvertes au début de la période postglaciaire.

4.2.3 TAP total des sédiments

La courbe postglaciaire du TAP total des sédiments à l'emplacement du carottage est donnée à la figure 13. Comme pour l'étude de la variabilité postglaciaire des pourcentages polliniques des principaux taxons forestiers et arbustifs du territoire d'étude (figure 12), le résultat du TAP total du sédiment est présenté pour un site par secteur ($n = 8$). Dans l'ensemble, le TAP total des sédiments est plus élevé dans les sous-domaines occidentaux de la pessière (PL et PM) que dans ceux de la sapinière (SBb et SBj). Pour la période de 8000 ans AA à aujourd'hui, le TAP total moyen est d'environ 16000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans les pessières et d'environ 10000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans les sapinières (figure 13). Le TAP est maximal dans la PM et minimal dans la SBb. Pour la période d'env. 8000 ans AA à aujourd'hui, la tendance de la courbe du TAP des sites n'est pas uniforme à travers le territoire d'étude. Toutefois, pour le dernier millénaire (1000-0 ans AA), le TAP total des sites est relativement uniforme pour tous les sites de la pessière (PL et PM) et de la sapinière (SBb et SBj), avec une valeur moyenne d'environ 10000-12000 grains·cm⁻²·an⁻¹.

Dans les **pessières** (PL et PM), la tendance de la courbe du TAP total des sites CH2 (PM) et LG412 (PL), situés dans la portion centrale de la pessière québécoise (vers 74° de longitude O) est similaire (figure 13) : le TAP y augmente continuellement, d'env. 8000 ans AA à env. 4000 ans AA, puis diminue. Vers 4000-3000 ans AA, le TAP est maximal et avoisine 30000 grains·cm⁻²·an⁻¹. Le TAP total moyen des deux autres sites de la pessière (PESS dans la PM et LG409 dans la PL) est plus faible, et la courbe montre une tendance contrastante. Dans le secteur Ouest de la PM (PESS), on note une légère augmentation du TAP depuis 8000-7000 ans AA. À l'inverse, dans le secteur Nord de la PL (LG409), on observe plutôt une légère diminution du TAP d'env. 6000 ans AA à aujourd'hui. Constaté que ce sont les TAP du site le plus nordique qui sont les plus faibles est réconfortant. Payette (1992)

a montré que les feux ont façonné la taïga (PL) et la toundra forestière en ouvrant graduellement les couverts arborescents.

Dans les **sapinières** (SBb et SBj), le TAP total des sites de la SBj (CGC27 et MART) est plus élevé que celui des sites de la SBb (FRANC et PRU, figure 13). Pour la période comprise entre 8000 ans AA et aujourd'hui, le TAP moyen de la SBj est près du double de celui de la SBb. Pour tous ces sites, on note une légère augmentation du TAP total d'env. 8000 ans AA à aujourd'hui, et particulièrement à partir d'env. 6000 ans AA.

En résumé, la courbe postglaciaire du TAP total du sédiment des sites met en lumière une augmentation progressive de la densité de la végétation depuis environ 8000 ans AA dans les sites de la SBj, de la SBb et de la PM-O (PESS). Dans la portion centrale de la PM et de la PL, vers 74° de longitude O., la courbe du TAP total des sites (CH2, LG412, et dans une moindre mesure, LG409) pour la même période suggère plutôt que l'abondance de la végétation a d'abord augmenté, puis diminué. La courbe du TAP total de ces derniers sites traduirait une réduction de la densité du couvert végétal de la région depuis env. 4000-3000 ans AA.

4.2.4 TAP de *Picea*

La courbe postglaciaire du TAP de *Picea* est présentée pour un site par secteur ($n = 8$) à la figure 13. Le TAP de *Picea* est plus élevé dans les sites des pessières (PL et PM) que parmi ceux des sapinières (SBb et SBj). Pour la période de 8000 ans AA et aujourd'hui, il est d'env. 7000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans les pessières et < 1000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans les sapinières.

4.2.4.1. Sites de la pessière à mousses et de la pessière à lichens

Aux sites CH2 (PM) et LG412 (PL), dans la portion centrale des sous-domaines occidentaux de la pessière à l'étude, l'abondance de grains de *Picea* dans le sédiment est proportionnelle à celle du TAP total, ce qui indique que ce dernier est peu influencé par d'autres taxons polliniques (figure 13). Le TAP de *Picea* augmente d'abord plus tôt et plus fortement à CH2, culmine vers 3500 ± 500 ans AA aux deux sites, puis diminue. La courbe du TAP de *Picea* à ces deux sites semble bel et bien témoigner de l'abondance des épinettes noires sur le territoire.

Aux deux autres sites (PESS, LG409), le parallélisme entre la courbe du TAP total et du TAP de *Picea* est moins net (figure 13). Au site PESS, dans l'ouest de la PM, le TAP de *Picea* augmente irrégulièrement depuis env. 8000 ans AA. Cette augmentation est

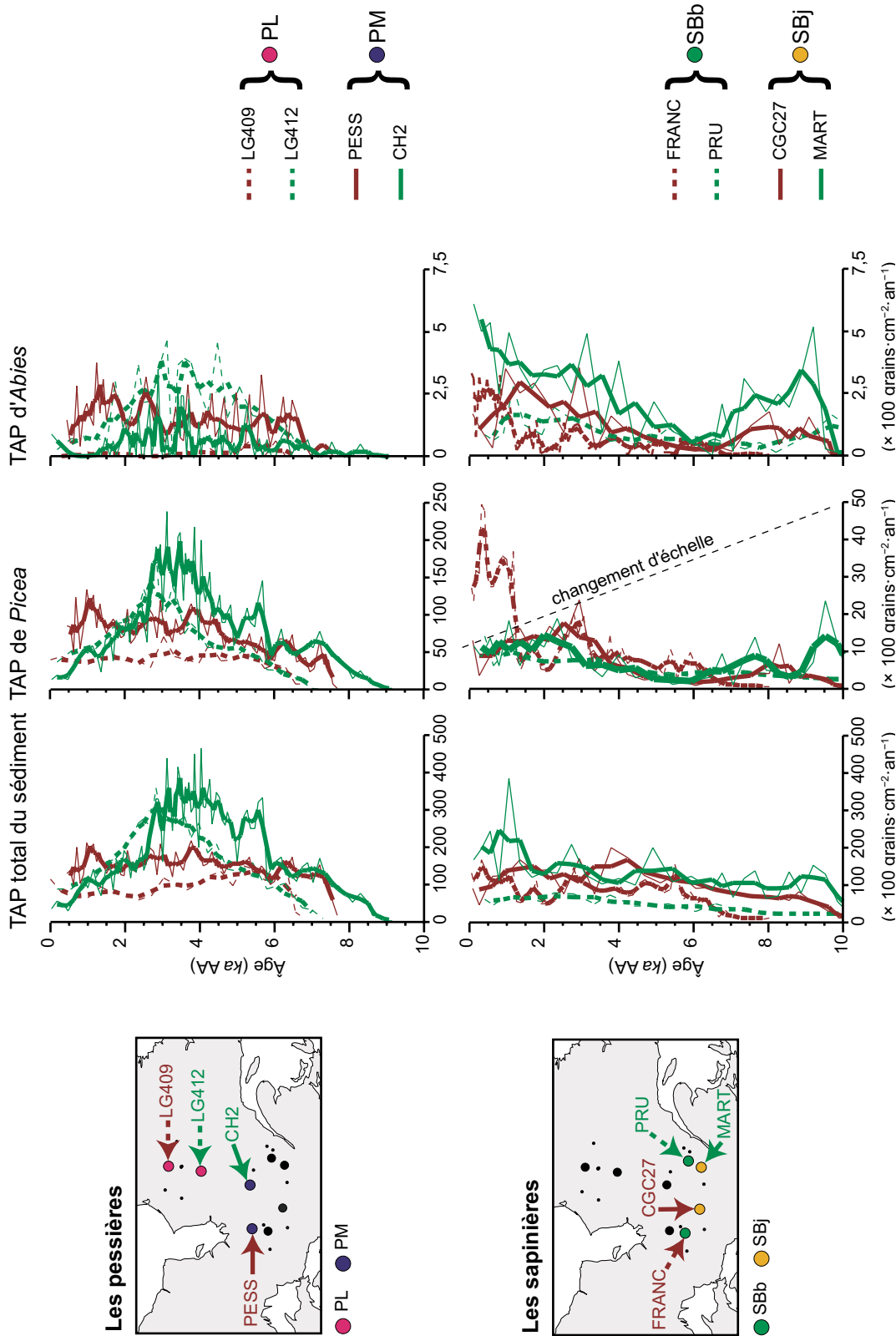


Figure 13. Courbes du taux d'accumulation pollinique (TAP) total du sédiment et du TAP de *Picea* et d'*Abies* dans l'ouest du Québec depuis la déglaciation. Les résultats sont présentés en fonction de l'âge du sédiment, par domaine bioclimatique (cercles de couleur) et par secteur (lignes rouges : Nord pour PL et Ouest pour PM; en haut : PL et PM; en bas : SBb et SBj). Les cartes de gauche appellent l'emplacement des 8 sites retenus (en haut : PL et PM; en bas : SBb et SBj).

moins prononcée depuis env. 4000 ans AA. Au site LG409, dans le nord de la PL, le TAP de *Picea* est relativement stable depuis env. 6000 ans AA, alors que le TAP total des sédiments diminue progressivement. Depuis env. 1000 ans AA, la valeur du TAP de *Picea* du site LG409 se compare à celle des autres sites de la portion centrale de la pessière à l'étude (CH2 et LG412), à env. 4000 grains·cm⁻²·an⁻¹ au cours du dernier millénaire. Pour la même période, le TAP de *Picea* au site PESS est deux fois plus élevé, y traduisant une plus grande abondance des épinettes dans les alentours, toutes choses étant égales par ailleurs, notamment la focalisation sédimentaire et pollinique.

Dans les pessières, le pourcentage de *Picea* augmente continuellement depuis env. 8000 ans AA (figure 12). Les épinettes noires sont donc de mieux en mieux représentées par leur pollen dans les sites de la PL et de la PM. Depuis env. 4000-3000 ans AA, les pourcentages de *Picea* des sites sont élevés et relativement stables (figure 12), mais leur TAP diminue durant la même période (figure 13). Cela traduit une ouverture du couvert forestier vers 74° de longitude O. En d'autres mots, depuis 4000 ans, le nombre d'épinettes noires est de moins en moins grand, mais l'espèce est proportionnellement mieux représentée qu'auparavant par son pollen.

4.2.4.2. Sites de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune

Depuis env. 8000 ans AA, on observe une augmentation générale du TAP de *Picea* dans les sites des sous-domaines occidentaux de la sapinière (figure 13). Les courbes du TAP de *Picea* de tous les sites dans les sapinières (SBb et SBj) se ressemblent davantage que dans les pessières. Dans l'ensemble, le TAP de *Picea* dans les sites de la sapinière était d'env. 400 grains·cm⁻²·an⁻¹ il y a 8000 ans, alors que de nos jours (1000-0 ans AA), il est d'env. 1000 grains·cm⁻²·an⁻¹. Les sites de la SBj (CGC27 et MART), déglacés plus tôt, montrent également que le TAP de *Picea* au cours de la période 10000-8000 ans AA était possiblement équivalent à celui de la période récente, notamment au site MART. Pour la période couvrant les trois derniers millénaires (3000-0 ans AA), la tendance est toutefois légèrement différente. Pour les sites de la SBj, on note une légère diminution du TAP de *Picea*, alors que dans les sites de la SBb, une augmentation est observée. Au site PRU, dans le secteur SBb-E, cette augmentation est toutefois très légère, voire quasi nulle. À l'inverse, une augmentation prononcée du TAP de *Picea* est observée au site FRANC, et ce, depuis notamment env. 2000 ans AA. Le site FRANC est situé dans l'ouest du territoire d'étude (SBb-O). De même, le

site PESS (PM-O), distant de 110 km, montre une augmentation prononcée du TAP de *Picea* au cours des derniers millénaires.

Dans les sapinières, le pourcentage de *Picea* augmente légèrement d'env. 8000 ans AA à aujourd'hui (figure 12). Tout comme dans la pessière, le pollen des épinettes noires est de plus en plus représenté (%) dans la forêt des environs des sites de la SBb et de la SBj depuis la déglaciation. Le pourcentage de *Picea* est légèrement plus élevé dans la SBb que dans la SBj, alors que les valeurs du TAP de *Picea* sont plus comparables entre ces mêmes sites (figure 13). Depuis env. 8000 ans AA, les épinettes noires sont de plus en plus abondantes dans la composition de la végétation. Par ailleurs, leur part (%) est plus importante dans la SBb que dans la SBj. Les données du TAP, relativement uniformes entre les sites et à une époque donnée, suggèrent que le nombre d'épinettes noires a probablement presque toujours été aussi grand sur le territoire de la SBb que sur celui de la SBj. Toutefois, comme pour les sites de la pessière à proximité de 74° de longitude O., ce nombre semble avoir diminué depuis env. 3000 ans AA.

4.2.4.3. Sites du secteur Ouest de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc

Les fréquences (%) et TAP de *Picea* des sites du secteur Ouest de la PM (PESS) et de la SBb (FRANC) sont particulières, notamment depuis env. 2000-1000 ans AA (figures 12 et 13). À ces deux endroits, on note à cette époque une augmentation des TAP et des pourcentages de *Picea*. Aux autres sites des pessières et des sapinières, les pourcentages de *Picea* augmentent également, mais à l'inverse, les TAP diminuent. Dans le secteur Ouest de la PM, le pourcentage de *Picea* au site PESS (55 %) au cours de la période d'env. 2000 à 0 ans AA est comparable à celui observé aux autres sites des pessières (CH2 : 45 %, LG412 et LG409 : 50 %). Le TAP de *Picea* au site PESS est toutefois plus grand que celui observé aux autres sites. Dans le secteur Ouest de la SBb, le pourcentage de *Picea* au site FRANC (25 %) est comparable depuis env. 1000 ans AA à celui du site PRU (20 %), dans l'est de la SBb. Comme pour les sites des pessières, le TAP de *Picea* de la SBb-O est différent de celui de la SBb-E. Depuis env. 1000 ans AA, le TAP de *Picea* est d'env. 3000 grains·cm⁻²·an⁻¹ au site FRANC et d'env. 1000 grains·cm⁻²·an⁻¹ au site PRU. Pour la même période, le TAP de *Picea* des deux secteurs de la SBj (CGC27 et MART) se compare à celui du site PRU, dans le secteur Est de la SBb.

Ces résultats soulignent qu'il est possible que le nombre d'épinettes noires soit en constante

progression dans les secteurs Ouest de la PM et de la SBb, tant pour la composition de la forêt que le nombre d'individus, et ce, depuis env. 2 000 ans AA. À l'opposé, dans le reste du territoire, il est possible que le nombre d'épinettes noires soit en déclin depuis env. 3 000 ans AA.

4.2.5 TAP d'*Abies*

La courbe postglaciaire du TAP d'*Abies* est présentée pour un site par région ($n = 8$) à la figure 13. Pour la période d'env. 8 000 à 0 ans AA, le TAP moyen d'*Abies* est maximal dans la SBj, notamment dans son secteur Est (MART). Pour la même période, on notera que la valeur moyenne du TAP d'*Abies* des sites de la SBb est comparable à celui des sites de la PM.

Dans les **pessières** (PL et PM), à l'exception du site LG412 (PL), il ne semble pas y avoir de correspondance particulière entre le TAP total et le TAP d'*Abies* (figure 13). Il n'y a pas non plus de tendance particulière dans la courbe de pourcentage d'*Abies* au sein des sites des pessières (figure 12). Pour la période d'env. 8 000 à 0 ans AA, le TAP d'*Abies* est un peu plus élevé aux sites PESS et LG412 (figure 13). Ces résultats suggèrent la présence de quelques sapins dans la végétation à proximité des sites, notamment vers 4 000 ans AA au site LG412 (sud de la PL) et depuis env. 3 000 ans AA au site PESS (ouest de la PM). Au site CH2, dans l'est de la PM, contrairement au TAP total et au TAP de *Picea* où un pic est observé vers 4 000-3 000 ans AA, il n'y a pas d'augmentation significative du TAP d'*Abies* à cette époque. Ainsi, il se peut que les sapins aient toujours été rares dans la végétation avoisinant le site CH2, c.-à-d. dans les environs de la ville de Chibougamau (Garralla et Gajewski 1992).

À l'inverse, dans les **sapinières** (SBb et SBj), la courbe du TAP d'*Abies* a une allure bimodale, parabolique (figure 13). D'env. 10 000 à 8 000 ans AA, le TAP initialement élevé d'*Abies* diminue jusqu'à env. 6 000 ans AA. Par la suite, le TAP d'*Abies* augmente légèrement jusqu'à aujourd'hui. Cette tendance observée parmi les sites de la SBb et de la SBj, depuis env. 10 000 ans AA, vaut également pour la courbe du pourcentage d'*Abies* de ces mêmes sites (figure 12). Cette ressemblance entre les deux courbes a déjà été soulignée par Richard (1993). Les plus forts pourcentages d'*Abies* observés à la base et au sommet des séquences témoignent donc bel et bien de la présence de sapins sur le territoire actuel de la SBb et de la SBj à ces époques. Par exemple, dans la SBj (CGC27 et MART), le TAP moyen d'*Abies* était d'env. 200 grains·cm⁻²·an⁻¹ vers 8 000 ans AA, alors qu'il est d'env. 275 grains·cm⁻²·an⁻¹ depuis environ 4 000 ans. À l'inverse, vers 6 000 ans AA, le nombre de sapins dans la végétation était sans

doute beaucoup moindre qu'actuellement, puisqu'à cette époque, le TAP d'*Abies* de tous les sites de la SBb et de la SBj n'excédait pas 60 grains·cm⁻²·an⁻¹. En comparaison, le TAP d'*Abies* observé à cette époque aux sites PESS et LG412, respectivement dans la PM et la PL, est plus élevé. La chute du TAP d'*Abies* dans les sapinières vers 6 000 ans AA suggère un déclin des populations de sapins qui pourrait être lié à la longue durée de la saison des feux à cette époque (Ali *et al.* 2012).

4.3 Synthèse des données polliniques postglaciaires de l'ouest du Québec et description de l'histoire de la végétation

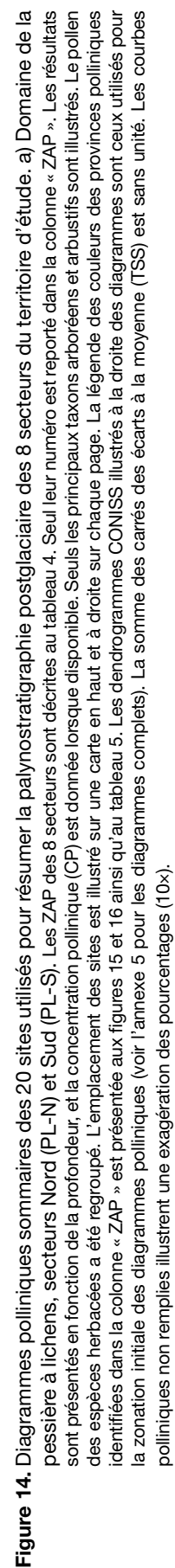
4.3.1 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires des 8 secteurs de l'ouest du Québec

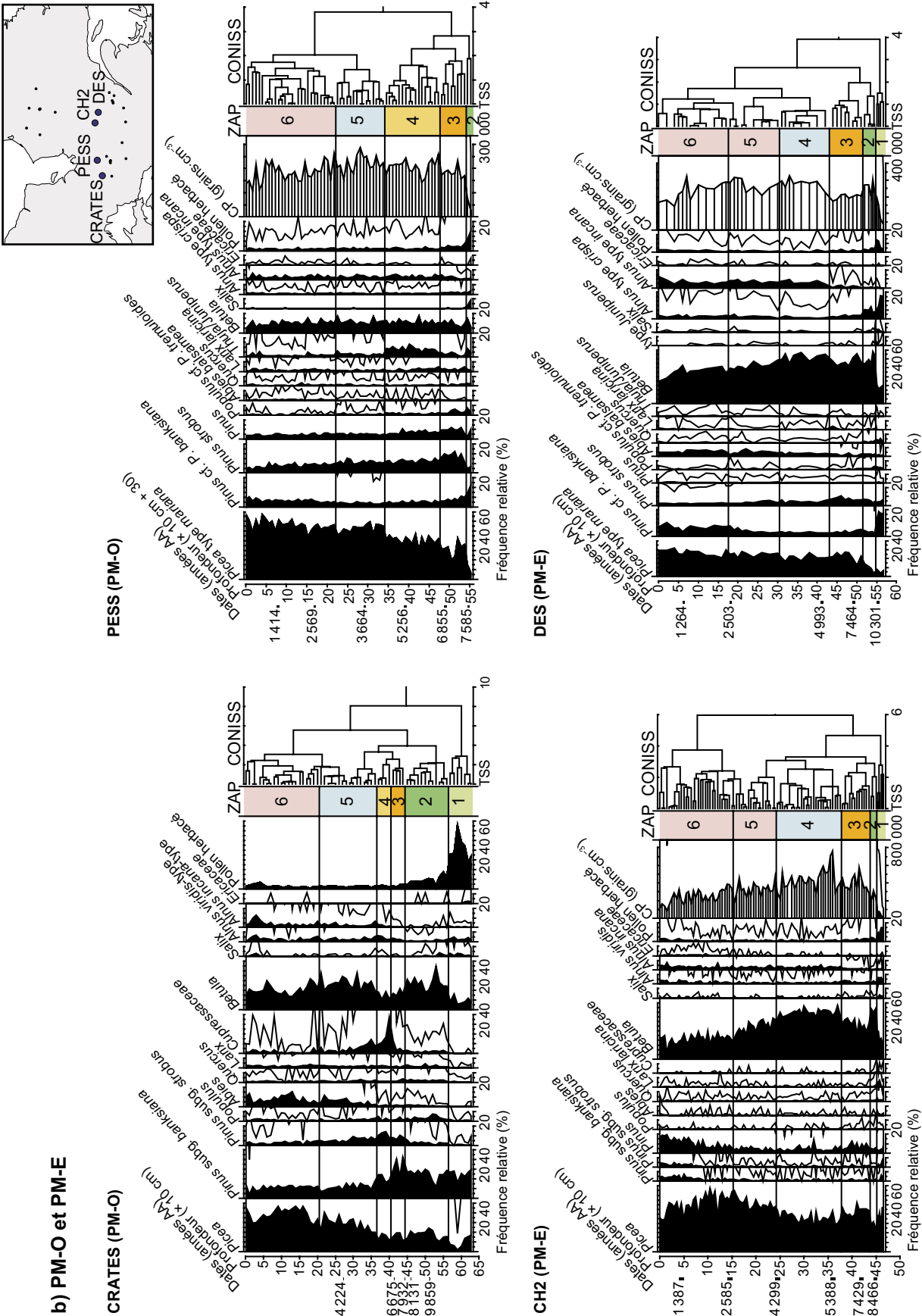
Les ZAP des 20 meilleurs sites ont été comparées et résumées à l'échelle de 8 secteurs (figures 14, 15 et 16). Les ZAP des 8 secteurs sont décrites au tableau 4, et la végétation reconstituée de l'époque des ZAP est livrée à la figure 17. Les résultats sont discutés par domaine bioclimatique (PL, PM, SBb, SBj). Le résultat de la compilation de la provenance des analogues modernes par ZAP est livré au supplément 4.

La répartition géographique des assemblages modernes comparables aux assemblages postglaciaires des ZAP des 8 secteurs est précisée sur des cartes à l'annexe 9. Le résultat est présenté pour un site du secteur Est et pour un site du secteur Ouest de la PM (CH2, PESS), de la SBb (PRU, FRANC) et de la SBj (MART, CGC27). Pour la PL, le résultat d'un seul site (LG412) est fourni. Dans l'ensemble, les assemblages actuels comparables aux ZAP antérieures à env. 5 000 ans AA proviennent de sites éloignés du site à l'étude et généralement au sud-ouest ou à l'ouest de celle-ci. Cette situation s'applique tout particulièrement aux sites de l'ouest de la PM, de la SBb et de la SBj (voir les cartes des analogues des ZAP des sites PESS, FRANC et CGC27 à l'annexe 9). À l'opposé, les assemblages actuels comparables aux assemblages des ZAP subséquentes, d'env. 5 000 ans AA à aujourd'hui, proviennent de sites dans les environs du site à l'étude.

4.3.1.1 Domaine de la pessièrre à lichens

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites du domaine de la pessièrre à lichens (PL) sont dominés par le pollen de *Picea*, d'*Alnus crispa* et de *Betula* (figure 14a). Le pollen herbacé est relativement abondant. Le pollen d'*Alnus crispa* est plus abondant dans le secteur Nord, et celui de *Betula*, dans le secteur Sud.





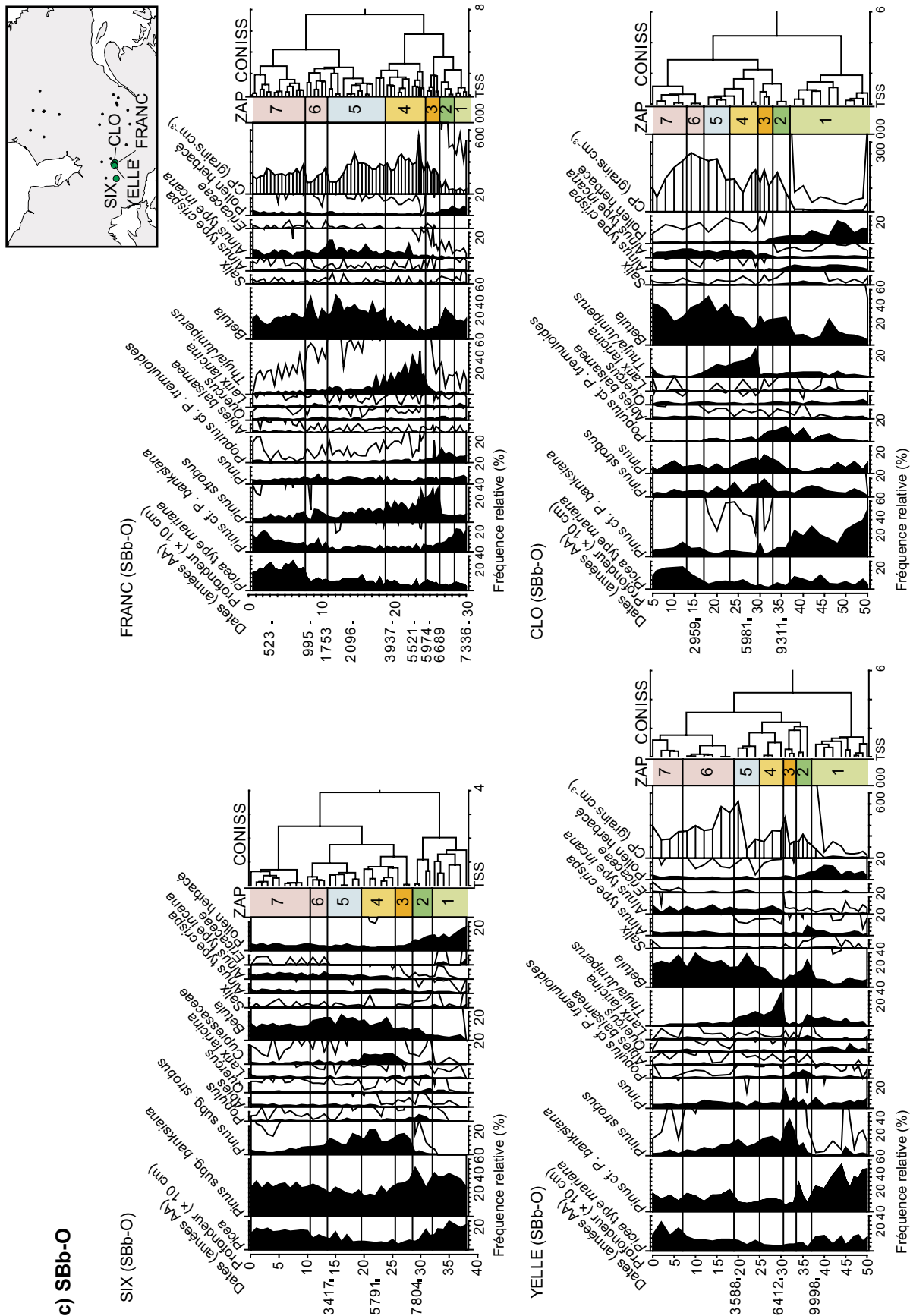


Figure 14. (suite) c) Domaine de la sapinière à bouleau blanc, secteur Ouest (SBb-O).

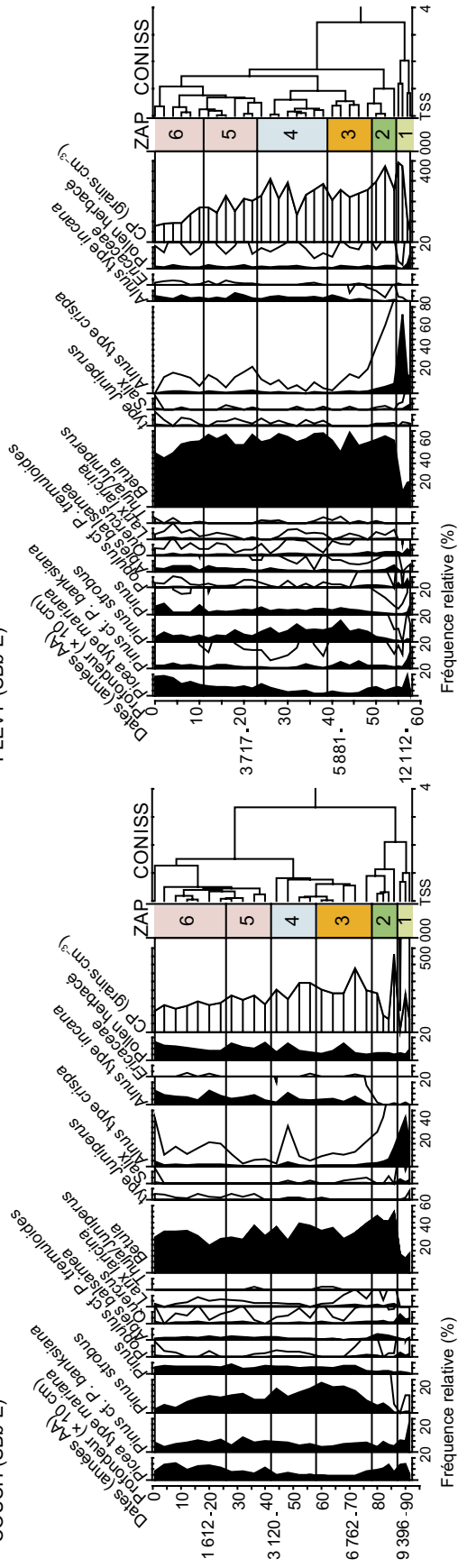
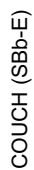
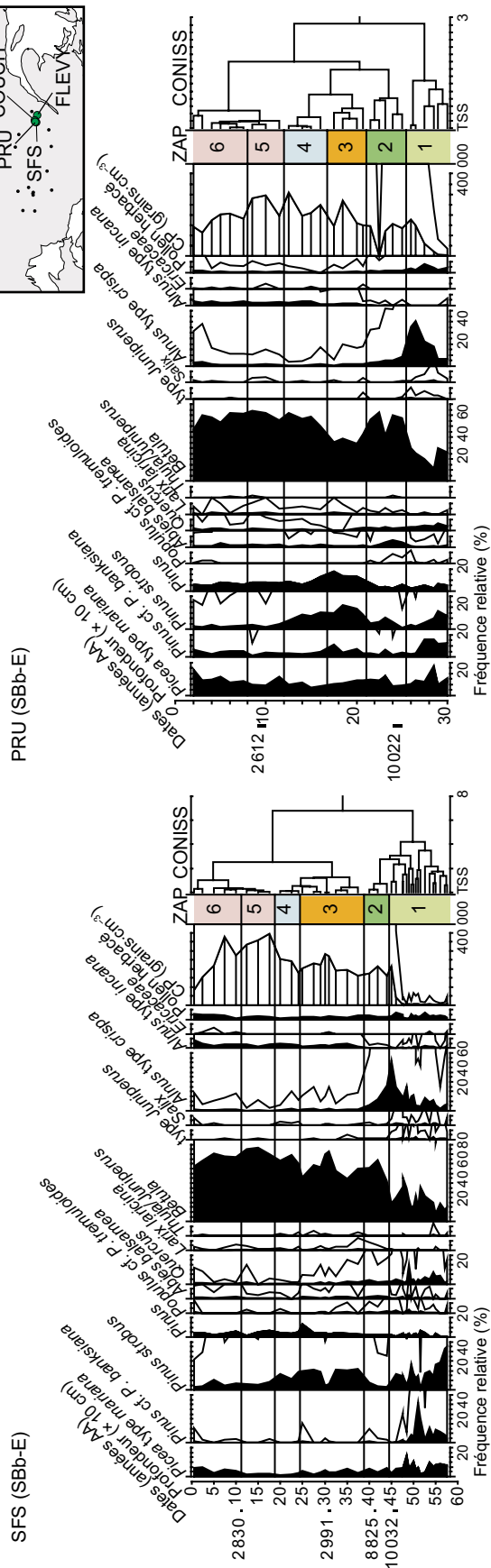
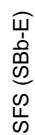


Figure 14. (suite) d) Domaine de la sapinière à bouleau blanc, secteur Est (SBb-E).

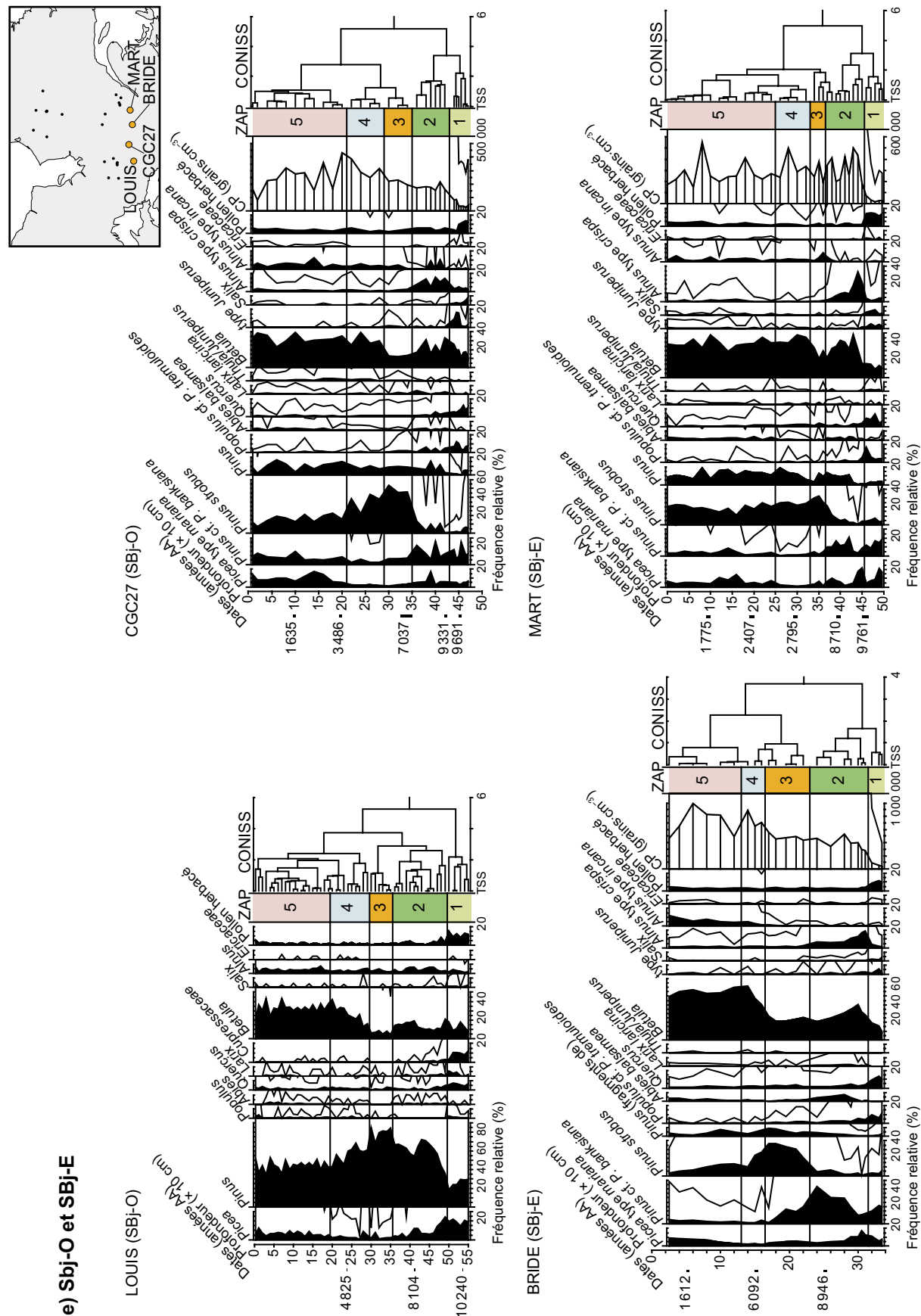
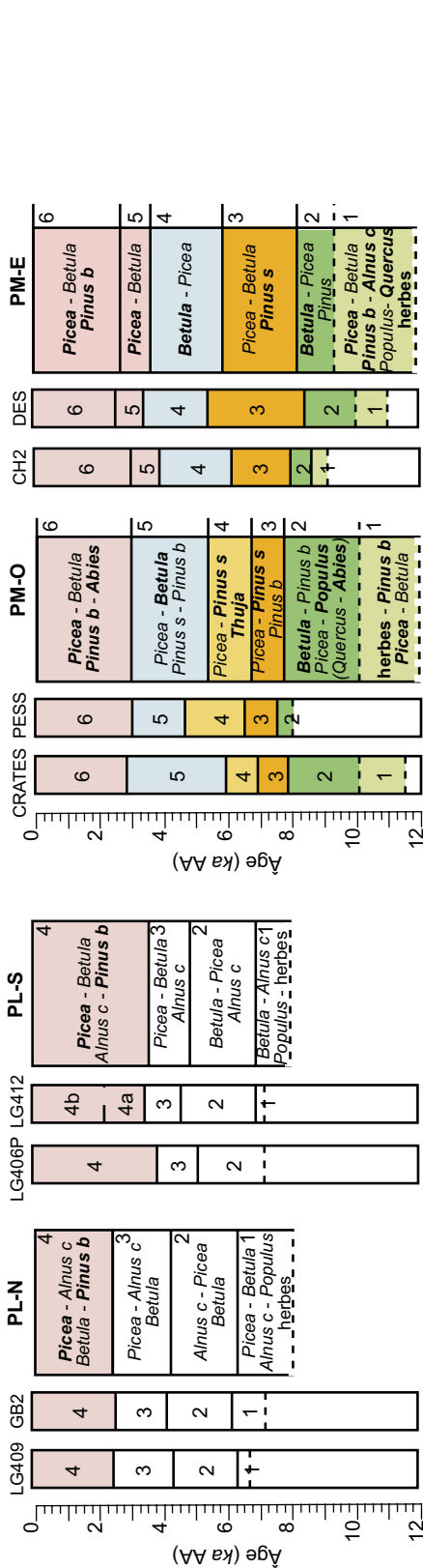


Figure 14. (suite et fin) e) Domaine de la sapinière à bouleau jaune, secteurs Ouest (Sbj-O) et Est (Sbj-E).

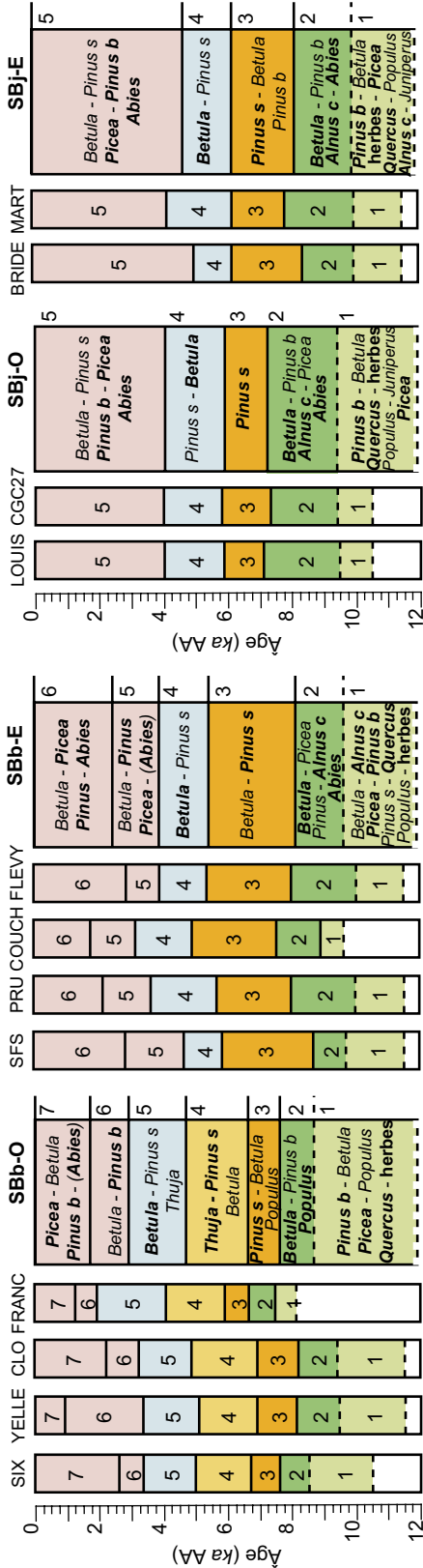
Pessière à lichens (Nord et Sud)

Pessière à mousses (Ouest et Est)



Sapinière à bouleau blanc (Ouest et Est)

Sapinière à bouleau jaune (Ouest et Est)



Taxons clés des ZAP (provinces polliniques postglaciaires)



Figure 15. Détail de la construction des 8 palynostratigraphies synthèses du territoire d'étude en fonction de l'âge, par domaine bioclimatique et par secteur (Ouest et Est, Nord et Sud). Les ZAP des 20 sites sont illustrées à gauche de celles de celles des 8 secteurs. Les ZAP sont numérotées et nommées (voir le tableau 4), et les provinces polliniques postglaciaires sont illustrées par des couleurs différentes (voir le tableau 5). Dans le nom des ZAP, les taxons clés des provinces polliniques sont en caractères gras. Les résultats sont présentés en fonction de l'âge du sédiment. Les palynostratigraphies synthèses des 8 secteurs sont reportées et comparées à la figure 16.

Taxons clés des ZAP (provinces polliniques postglaciaires)

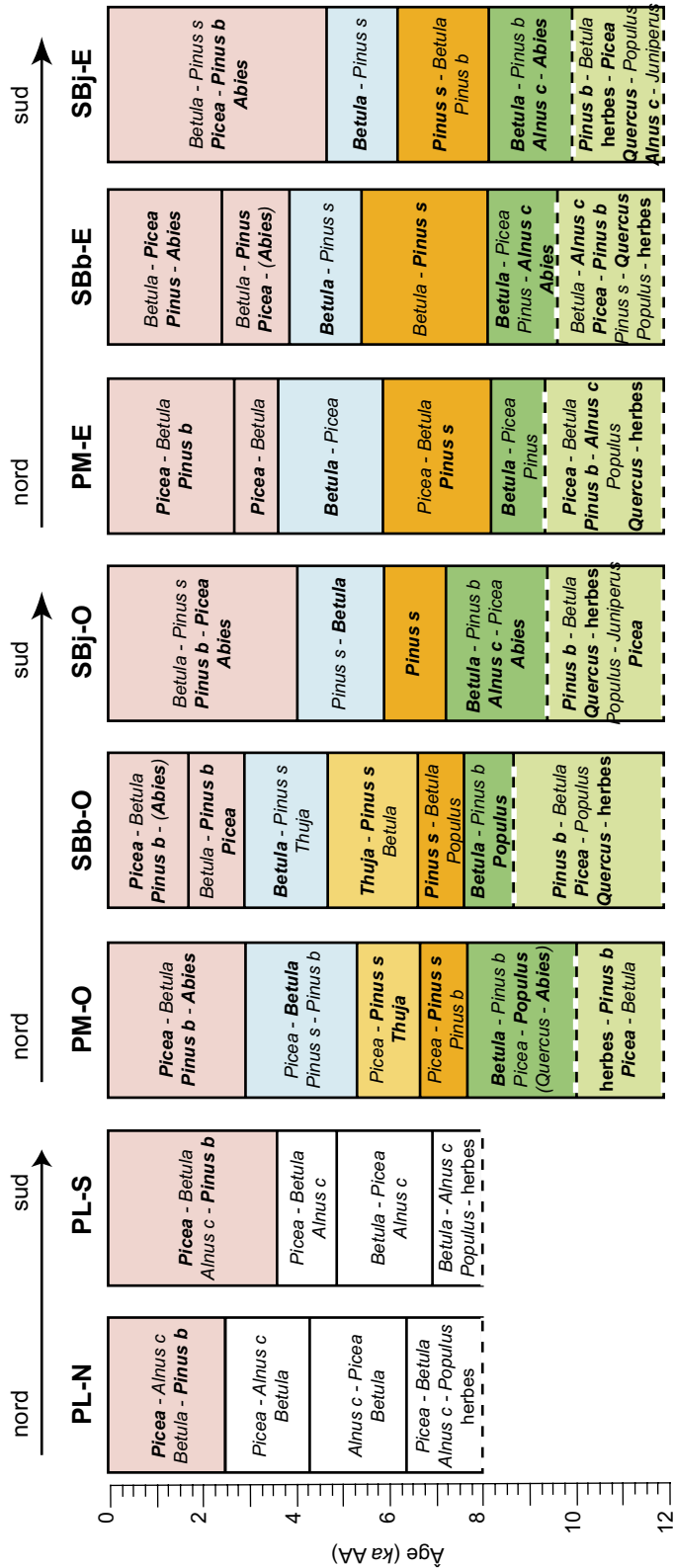
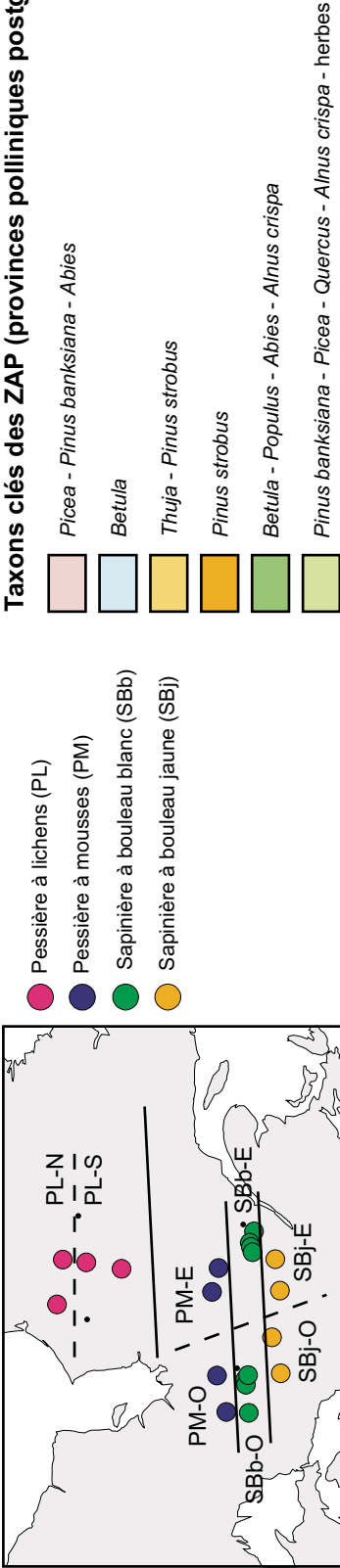


Figure 16. Comparaison des 8 palynostratigraphies synthèses de l'ouest du Québec en fonction de l'âge, par domaine bioclimatique et par secteur (Ouest et Est, Nord et Sud). Les ZAP sont nommées et les provinces polliniques postglaciaires sont illustrées par des couleurs différentes (voir le tableau 5). Dans le nom des assemblages, les taxons clés des provinces polliniques sont en caractères gras. La chronologie des ZAP est une chronologie moyenne basée sur celle des ZAP des sites du secteur (voir la figure 15). La chronologie des ZAP basales est approximative, car celles-ci sont observées dans le sédiment inorganique ou encore, au tout début de la sédimentation organique; il n'y avait que peu ou pas de contrôle chronologique (dates radiocarbones). L'emplacement des sites est illustré sur une carte en haut et à gauche, sur laquelle les traits pleins délimitent les domaines bioclimatiques, et les traits pointillés délimitent les secteurs (Ouest et Est, Nord et Sud).

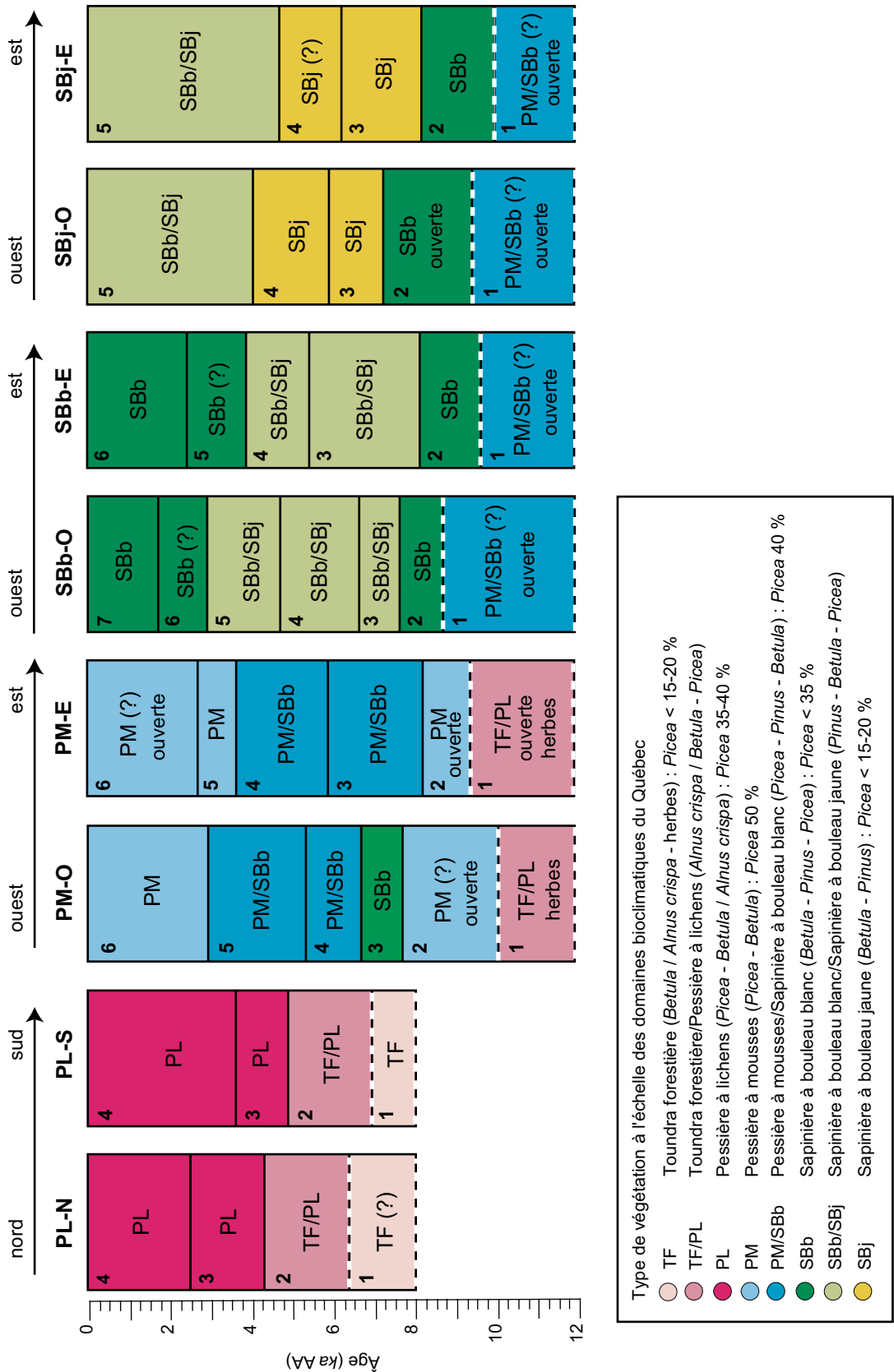


Figure 17. Reconstitution de la végétation postglaciaire des 8 secteurs à l'époque des ZAP. Les histogrammes sont ordonnés par domaine bioclimatique et donc, différemment de ceux de la figure 16. Le numéro des ZAP (voir le tableau 4) est reporté sur les histogrammes. Chaque reconstitution de la végétation tient compte de la provenance des analogues (groupe K-means) (voir le supplément 4, disponible sur demande), de l'assemblage pollinique type de la végétation des domaines bioclimatiques (tableau 3) et du pourcentage de *Picea* dans les assemblages. L'assemblage pollinique des végétations postglaciaires reconstituées est décrit sommairement dans la légende.

Tableau 4. Âge, description et végétation reconstituée à l'époque des zones d'assemblage pollinique (ZAP) par domaine bioclimatique et par secteur : a) pessière à lichens (secteurs Nord et Sud), b) pessière à mousses (secteurs Ouest et Est), c) sapinière à bouleau blanc (secteurs Ouest et Est) et d) sapinière à bouleau jaune (secteurs Ouest et Est). Ce tableau accompagne les diagrammes de la figure 14. Les couleurs en marge de la description des ZAP réfèrent aux provinces polliniques décrites au tableau 5 et illustrées sur les figures 15 et 16. Dans le nom des ZAP, les taxons clés associés aux provinces polliniques sont soulignés. Il faut lire la description des ZAP de bas en haut (p. ex., de PLN1 à PLN4) pour comprendre les changements évoqués.

a) Pessière à lichens (PL)

Secteur Nord (PL-N : sites GB2 et LG409)				Secteur Sud (PL-S : sites LG406P et LG412)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
PLN4	2600-0	<u>Picea</u> – <u>Alnus crispa</u> – <u>Betula</u> – <u>Pinus banksiana</u> Les pourcentages de <u>Picea</u> (> 50 %) et de <u>Pinus banksiana</u> (5 %) sont maximaux dans cette ZAP. Celui de <u>Betula</u> et d' <u>Alnus crispa</u> est plus faible que dans la ZAP précédente. Les spores de <u>Sphagnum</u> sont de nouveau abondantes (5 %).	PL	PLS4	3700-0	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Alnus crispa</u> – <u>Pinus banksiana</u> Aux deux sites, le pollen de <u>Picea</u> domine la ZAP (> 40 %). Au site LG406P, le pourcentage de <u>Pinus banksiana</u> augmente (> 5 %) et celui de <u>Betula</u> diminue (20 %). Au site LG412 (plus au sud), cette ZAP peut être subdivisée. La base est marquée par une augmentation du <u>Pinus banksiana</u> (> 5 %). Le pourcentage de <u>Sphagnum</u> oscille entre 2 et 20 %. Au sommet, les pourcentages de <u>Picea</u> et de <u>Pinus banksiana</u> sont maximaux, alors que ceux de <u>Betula</u> et d' <u>Alnus</u> sont minimaux (< 15 %).	PL
PLN3	4300-2600	<u>Picea</u> – <u>Alnus crispa</u> – <u>Betula</u> De la base au sommet, le pourcentage de <u>Picea</u> augmente (50 %) et celui d' <u>Alnus crispa</u> diminue (20 %). Le pourcentage de <u>Betula</u> est plus faible (15 %) que dans la ZAP précédente, alors que celui de <u>Pinus banksiana</u> est plus élevé (2,5 %). La CP est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente.	PL (TF/PL)	PLS3	4900-3700	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Alnus crispa</u> Aux deux sites, le début de cette ZAP est marqué par une diminution du pollen de <u>Betula</u> (25 %). Le pourcentage de <u>Picea</u> est comparable à celui de la ZAP précédente. Au site LG412 (plus au sud), le début de la ZAP est marqué par une augmentation du pourcentage d' <u>Alnus crispa</u> (20 %), alors qu'au site LG406P, il est marqué par une augmentation de <u>Pinus banksiana</u> (> 3 %). La CP est maximale dans cette ZAP.	PL
PLN2	6300-4300	<u>Alnus crispa</u> – <u>Picea</u> – <u>Betula</u> L'augmentation abrupte de l'abondance du pollen d' <u>Alnus crispa</u> (40 %) à la base de la ZAP est suivie de celle du pollen de <u>Betula</u> (20 %). Par la suite, les pourcentages de ces deux taxons diminueront continuellement jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage de <u>Picea</u> augmente progressivement en oscillant entre 30 et 40 %. Ceux des plantes herbacées et de <u>Populus</u> chutent. Les pourcentages de <u>Pinus banksiana</u> et de <u>Sphagnum</u> (< 1,5 %) sont plus faibles que dans la ZAP précédente. La CP augmente.	TF/PL	PLS2	6900-4900	<u>Betula</u> – <u>Picea</u> – <u>Alnus crispa</u> Au site LG412 (plus au sud), le début de la ZAP est marqué par une augmentation du pollen de <u>Picea</u> (35 %), de <u>Pinus banksiana</u> (3 %) et de <u>Betula</u> (35 %). Les pourcentages de <u>Populus</u> , des plantes herbacées et d' <u>Alnus crispa</u> (10 %) chutent. Celui de <u>Sphagnum</u> est faible (3 %). Au site LG406P, <u>Alnus crispa</u> est abondant (20 %) et les pourcentages de <u>Betula</u> , de <u>Picea</u> et de <u>Pinus banksiana</u> sont comparables à ceux du site LG412. La CP augmente.	TF/PL
PLN1	avant 6300	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Alnus crispa</u> – <u>Populus</u> – <u>Herbes</u> Le pollen de <u>Picea</u> (30 %) et de <u>Betula</u> (20 %) domine l'assemblage. Le pollen d' <u>Alnus crispa</u> , de <u>Populus</u> et des herbes est présent. <u>Pinus banksiana</u> est peu abondant (< 5 %). Les spores de mousses (<u>Sphagnum</u>) sont relativement abondantes (5-10 %). La concentration pollinique (CP) est minimale.	TF (?)	PLS1	avant 6900	<u>Betula</u> – <u>Alnus crispa</u> – <u>Populus</u> – <u>Herbes</u> Cette ZAP est absente au site LG406P. Au site LG412, le pollen d' <u>Alnus crispa</u> et de <u>Betula</u> domine l'assemblage (30 %). Le pollen des plantes herbacées et de <u>Populus</u> est présent. Les mousses (<u>Sphagnum</u>) sont présentes (15 %). Le pollen de <u>Picea</u> et de <u>Pinus banksiana</u> est très peu abondant (< 1,5 %). La concentration pollinique (CP) est minimale.	TF

b) Pessière à mousses (PM)

Secteur Ouest (PM-O : sites CRATES et PESS)				Secteur Est (PM-E : sites CH2 et DES)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
PMO6	2900–0	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Pinus banksiana</u> – <u>Abies</u> Le pourcentage de <i>Picea</i> est maximal dans cette ZAP, qui est aussi marquée par une légère augmentation du pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> . Le pollen de <i>Betula</i> est moins abondant que dans la ZAP précédente. Le pourcentage d' <i>Abies</i> est maximal au site CRATES (5-10 %), alors qu'il est toujours présent (> 1 %) au site PESS.	PM	PME6	2700–0	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Pinus banksiana</u> De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente. Le pourcentage de <i>Betula</i> est minimal dans cette ZAP (exclusion de la ZAP PME1). Au site CH2, le pourcentage de <i>Picea</i> diminue légèrement (35 %). Au site DES, les pourcentages de <i>Picea</i> (25 %) et d' <i>Abies</i> sont comparables à ceux de la ZAP précédente.	PM (?) ouverte
				PME5	3600–2700	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> Cette ZAP est marquée par une diminution du pollen de <i>Betula</i> concomitante à une augmentation de celui de <i>Picea</i> . De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente légèrement. Au site DES, le pourcentage d' <i>Abies</i> atteint 5 %.	PM
				PMO5	5300–2900	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Pinus strobus</u> – <u>Pinus banksiana</u> Aux deux sites, cette ZAP est marquée par une augmentation du pollen de <i>Picea</i> concomitante à une diminution du pollen de <i>Thuja</i> et de <i>Pinus strobus</i> . Le pollen de <i>Picea</i> et de <i>Betula</i> domine. Le pourcentage de <i>Picea</i> est plus élevé au site PESS qu'au site CRATES, alors que c'est l'inverse pour <i>Betula</i> . Le pollen d' <i>Abies</i> augmente au site CRATES. Aux deux sites, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est plus faible que dans la ZAP précédente.	PM/SBb
				PMO4	6700–5300	<u>Picea</u> – <u>Pinus strobus</u> – <u>Thuja</u> Le pourcentage de <i>Thuja</i> est maximal dans cette ZAP, et ceux de <i>Pinus strobus</i> et de <i>Pinus banksiana</i> sont légèrement moins élevés que dans la ZAP précédente. Le pourcentage de <i>Thuja</i> augmente abruptement au site CRATES (35 %) et plus doucement au site PESS. Au site PESS, le pourcentage de <i>Thuja</i> oscille entre 5 et 15 %. Le pourcentage de <i>Picea</i> augmente (35 %) au site PESS, alors qu'au site CRATES, il se compare à celui de la ZAP précédente. Aux deux sites, le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage de <i>Populus</i> chute.	PM/SBb
				PMO3	7700–6700	<u>Picea</u> – <u>Pinus strobus</u> – <u>Pinus banksiana</u> Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est maximal dans cette ZAP, et plus important au site PESS (20 %) qu'au site CRATES (10 %), tout comme celui de <i>Picea</i> (PESS: 30 %, CRATES : 15 %). Au site CRATES, <i>Pinus banksiana</i> est abondant (30 %), alors qu'au site PESS, son pourcentage diminue de la base au sommet (10 %). Aux deux sites, le pollen de <i>Betula</i> est moins abondant que dans la ZAP précédente. <i>Thuja</i> et <i>Populus</i> sont présents.	SBb
				PME3	8200–5800	<u>Picea</u> – <u>Betula</u> – <u>Pinus strobus</u> Le début de cette ZAP est marqué par une diminution du pourcentage de <i>Betula</i> et une augmentation de celui de <i>Picea</i> . Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est maximal dans cette ZAP (10 %). <i>Populus</i> et <i>Quercus</i> sont toujours présents, mais très faiblement. Les pourcentages d' <i>Alnus crispa</i> et des herbes diminuent. Contrairement aux sites du secteur Ouest, le pollen de <i>Thuja</i> est « absent ».	PM/SBb

Secteur Ouest (PM-O : sites CRATES et PESS)				Secteur Est (PM-E : sites CH2 et DES)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
PMO2	(10000) -7700	<i>Betula</i> – <i>Pinus banksiana</i> – <i>Picea</i> – <i>Populus</i> – (<i>Quercus</i> – <i>Abies</i>) Cette ZAP est présente aux deux sites, mais elle ne comporte que 2 échantillons au site PESS (12 au site CRATES). Au site CRATES, le début de la ZAP est marqué par une chute du pourcentage de pollen herbacé (< 10 %) et par une augmentation de celui de <i>Betula</i> (30 %) et de <i>Picea</i> (20 %). Les pourcentages de <i>Populus</i> (5 %) et de <i>Quercus</i> (< 5 %) sont à leur maximum dans cette ZAP. Au site PESS, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (20 %) dépasse celui de <i>Picea</i> (10 %). Aux deux sites, <i>Thuja</i> est présent. Au site PESS, la CP est minimale.	PM (?) ouverte	PME2	(9300)–8200	<i>Betula</i> – <i>Picea</i> – <i>Pinus</i> Aux deux sites, cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Betula</i> (45 %). Au site CH2, le pourcentage de <i>Picea</i> (25 %) et des herbes (< 5 %) chute. Au site DES, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (< 5 %) chute, et celui d' <i>Alnus crispa</i> diminue graduellement. Le pollen de <i>Populus</i> et de <i>Quercus</i> est moins abondant que dans la ZAP précédente. La CP augmente.	PM ouverte
PMO1	avant (10000)	<i>Herbes</i> – <i>Pinus banksiana</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i> Cette ZAP est absente au site PESS. Au site CRATES, l'assemblage est dominé par <i>Pinus banksiana</i> (25 %) et par les herbes (40 %). Le pollen de <i>Picea</i> et de <i>Betula</i> est présent (10 %).	TF/PL	PME1	avant (9300)	<i>Picea</i> – <i>Betula</i> – <i>Pinus banksiana</i> – <i>Alnus crispa</i> – <i>Populus</i> – <i>Quercus</i> – <i>Herbes</i> L'assemblage pollinique des deux sites est distinct. <i>Picea</i> (40 %) domine l'assemblage au site CH2. <i>Pinus banksiana</i> et <i>Alnus crispa</i> dominent l'assemblage au site DES (25 %). Au deux sites, le pollen de plantes herbacées (10 %) est abondant, tout comme celui de <i>Betula</i> (20 %). Les pourcentages de <i>Populus</i> et de <i>Quercus</i> sont faibles, mais néanmoins significatifs. La CP est minimale.	TF/PL ouverte

c) Sapinière à bouleau blanc (SBb)

Secteur Ouest (SBb-O : sites SIX, FRANC, YELLE et CLO)				Secteur Est (SBb-E : sites SFS, PRU, COUCH et FLEVY)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
SBO7	1700–0	<i>Picea</i> – <i>Betula</i> – <i>Pinus banksiana</i> – (<i>Abies</i>) Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> . Celui de <i>Pinus banksiana</i> est comparable à celui de la ZAP précédente, et celui de <i>Betula</i> est plus faible. Le pollen d' <i>Abies</i> est légèrement plus abondant.	SBb	SBE6	2400–0	<i>Betula</i> – <i>Picea</i> – <i>Pinus</i> – <i>Abies</i> Cette ZAP pourrait être groupée avec la précédente (SBE5). De la base au sommet, on note une diminution du pourcentage de <i>Betula</i> concomitante à une augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> . Le pollen d' <i>Abies</i> est de nouveau abondant (2 %).	SBb
SBO6	2900–1700	<i>Betula</i> – <i>Pinus banksiana</i> Le pourcentage de <i>Thuja</i> chute (< 5 %) et celui de <i>Pinus banksiana</i> augmente. Le pourcentage de <i>Picea</i> est légèrement plus élevé que dans la ZAP précédente, et celui de <i>Betula</i> est comparable.	SBb (?) (SBb/ SBI)	SBE5	3800–2400	<i>Betula</i> – <i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – (<i>Abies</i>) Le pollen de <i>Betula</i> domine la ZAP et on observe une légère augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> . Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> chute aux sites SFS et PRU, mais diminue graduellement aux sites COUCH et FLEVY, plus à l'est. Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> diminuera jusqu'au sommet de la séquence.	SBb (?) (SBb/ SBI)

Secteur Ouest (SBb-O : sites SIX, FRANC, YELLE et CLO)				Secteur Est (SBb-E : sites SFS, PRU, COUCH et FLEVY)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
SBO5	4700–2900	Betula — Pinus strobus — Thuja Le pollen de <i>Betula</i> est maximal dans cette ZAP. Le pourcentage de <i>Thuja</i> est plus faible (10 %) que dans la ZAP précédente. De la base au sommet, le pollen de <i>Pinus strobus</i> diminue progressivement et il diminuera jusqu'au sommet de la séquence. On observe une légère augmentation du pollen de <i>Picea</i> .	SBb/SBj	SBE4	5400–3800	Betula — Pinus strobus L'assemblage pollinique de cette zone est très comparable à celui de la ZAP précédente. De la base au sommet, on observe une diminution du pourcentage de <i>Pinus strobus</i> , concomitante à une légère augmentation du pourcentage de <i>Betula</i> , de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> .	SBb/SBj
SBO4	6600–4700	Thuja — Pinus strobus — Betula Cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Thuja</i> (> 25 %). Au site SIX, cette augmentation est moins prononcée. <i>Pinus strobus</i> est toujours abondant, mais son pourcentage est plus faible que dans la ZAP précédente. Le pourcentage de <i>Picea</i> est toujours faible (< 10 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Thuja</i> et de <i>Pinus strobus</i> diminue, et celui de <i>Betula</i> augmente. Cette tendance est moins claire au site SIX. Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente dans cette ZAP et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence.	SBb/SBj	SBE3	8100–5400	Betula — Pinus strobus Le début de la ZAP est marqué par une chute du pourcentage d' <i>Abies</i> (< 1 %) et par une augmentation plus ou moins abrupte de celui de <i>Pinus strobus</i> . Le pollen de <i>Betula</i> domine toujours les assemblages (> 40 %). Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Les pourcentages de <i>Picea</i> , de <i>Quercus</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont très faibles.	SBb/SBj
SBO3	7600–6600	Pinus strobus — Betula — Populus Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente subitement à la base de la ZAP (> 25 %). Celui de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Populus</i> diminue. Le pourcentage de <i>Picea</i> est minimal dans cette ZAP (< 10 %). Dans l'ensemble, le pourcentage de <i>Betula</i> est plus faible que dans la ZAP précédente. Ceci est notamment le cas aux sites YELLE et FRANC.	SBb/SBj	SBE2	9600–8100	Betula — Picea — Pinus — Alnus crispa — Abies Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation subite du pourcentage de <i>Betula</i> (50 %) et par une chute concomitante du pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> (< 10 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> diminue, et celui de <i>Pinus strobus</i> augmente légèrement. Le pollen d' <i>Abies</i> est abondant dans cette ZAP (± 5 %) et celui de <i>Larix</i> est présent. Le pollen de <i>Quercus</i> et de <i>Populus</i> est toujours présent, mais en quantité moindre que dans la ZAP précédente. La CP augmente.	SBb
SBO2	8700–7600	Betula — Pinus banksiana — Populus Cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte du pourcentage de <i>Betula</i> . Celle-ci est toutefois plus graduelle au site SIX. Le pourcentage de <i>Populus</i> est maximal dans cette ZAP. Celui du pollen herbacé et de <i>Picea</i> est plus faible que dans la ZAP précédente. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente légèrement. Le pourcentage d' <i>Abies</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. La CP augmente.	SBb	SBE1	avant 9600	Betula — Alnus crispa — Picea — Pinus — Quercus — Populus — Herbes Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> est abondant dans cette ZAP, et <i>Betula</i> est à son minimum. Le pollen de <i>Pinus</i> et de <i>Picea</i> est relativement abondant. Le pollen de <i>Quercus</i> , de <i>Populus</i> et des plantes herbacées est présent. La CP est minimale.	PM/SBb (?) ouverte

d) Sapinière à bouleau jaune (SBj)

Secteur Ouest (SBj-O : sites LOUIS et CGC27)				Secteur Est (SBj-E : sites BRIDE et MART)			
ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée	ZAP	Âge (années AA)	Nom et description	Végétation reconstituée
SJO5	4000-0	Betula – Pinus strobus – Pinus banksiana – Picea – Abies Cette ZAP est marquée par une augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> (> 5 %). <i>Betula</i> et <i>Pinus strobus</i> dominent la ZAP. Le pourcentage de <i>Betula</i> et de <i>Pinus strobus</i> est plus ou moins constant de la base au sommet de la ZAP, et comparable à celui observé au sommet de la ZAP précédente. Le pollen d' <i>Abies</i> est de nouveau présent (1 %). Le pollen d' <i>Acer</i> est continuellement présent dans la partie supérieure de la ZAP (env. 2500-0 ans AA).	SBb/SBj	SJE5	4600-0	Betula – Pinus strobus – Picea – Pinus banksiana – Abies Cette ZAP est très comparable à la précédente (SJE4). Le pollen de <i>Betula</i> domine toujours les assemblages (40-45 %). Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est légèrement plus faible que celui de la ZAP précédente. Cette ZAP est davantage marquée par une augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> (> 3 %) et par l'abondance, de nouveau, du pollen d' <i>Abies</i> (> 2 %).	SBb/SBj
SJO4	5900-4000	Pinus strobus – Betula De la base au sommet, et cela progressivement, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> diminue et celui de <i>Betula</i> augmente. Tout comme dans la ZAP précédente, le pollen de <i>Picea</i> est peu abondant.	SBj	SJE4	6200-4600	Betula – Pinus strobus Le pollen de <i>Betula</i> domine la ZAP (45 %). Au site BRIDE, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> diminue de la base au sommet de la ZAP (10 %) alors qu'il demeure élevé au site MART (25 %). Le pollen de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> est minimal dans cette ZAP (< 3 %).	SBj (?)
SJO3	7200-5900	Pinus strobus Le pollen de <i>Pinus strobus</i> augmente abruptement à la base de la ZAP et il la domine. En contrepartie, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> chute. Le pourcentage de <i>Betula</i> est minimal (< 10 %) dans cette ZAP tout comme celui de <i>Picea</i> (< 5 %) et d' <i>Abies</i> (traces). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et il demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence.	SBj	SJE3	8100-6200	Pinus strobus – Betula – Pinus banksiana Le pollen de <i>Pinus strobus</i> domine la ZAP (30 %). De la base au sommet, on observe une augmentation du pourcentage de <i>Pinus strobus</i> et une diminution de celui de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Betula</i> . Les pourcentages de <i>Picea</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont faibles (< 5 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> (< 1 %) est plus faible que dans la ZAP précédente. Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente. Au site BRIDE, le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> est très faible. Il augmentera plutôt au cours de la ZAP suivante (SJE4).	SBj
SJO2	9400-7200	Betula – Pinus banksiana – Alnus crispa – Picea – Abies Cette ZAP est marquée par une augmentation du pourcentage de <i>Betula</i> , d' <i>Alnus crispa</i> et d' <i>Abies</i> . Au site LOUIS, le pollen de <i>Pinus (P. banksiana et P. strobus)</i> augmente (60 %) et celui de <i>Picea</i> chute (< 10 %). Au site CGC27, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (15 %) est comparable à celui de la ZAP précédente, et celui de <i>Pinus strobus</i> augmente légèrement (5 %). Aux deux sites, les pourcentages de <i>Quercus</i> , de <i>Populus</i> et des herbes chutent. La CP augmente.	SBb ouverte	SJE2	10000-8100	Betula – Pinus banksiana – Alnus crispa – Abies Cette ZAP est marquée par une augmentation rapide des pourcentages d' <i>Alnus crispa</i> (> 20 %) et de <i>Betula</i> (> 35 %). Vers le sommet de la ZAP, les pourcentages de ces deux taxons et de <i>Picea</i> diminuent, alors que celui de <i>Pinus (P. banksiana et P. strobus)</i> augmente. Les pourcentages de <i>Quercus</i> , de <i>Populus</i> et des herbes chutent (< 5 %). Le pollen d' <i>Abies</i> est abondant (< 3 %). La CP augmente.	SBb
SJO1	avant 9400	Pinus banksiana – Betula – Quercus – Herbes – Populus – Juniperus – Picea Le pollen de cette ZAP est diversifié. Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (> 15 %) et de <i>Quercus</i> (10 %) est abondant. <i>Picea</i> est abondant au site LOUIS, et <i>Betula</i> est abondant au site CGC27. Aux deux sites, les pourcentages de <i>Juniperus</i> , de <i>Populus</i> et des herbes sont élevés. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est faible (< 5 %), et le pollen d' <i>Abies</i> est absent. La CP est minimale.	PM/SBb (?) ouverte	SJE1	avant 10000	Pinus banksiana – Betula – Herbes – Picea – Quercus – Populus – Alnus crispa – Juniperus Le pollen de cette ZAP est diversifié et en proportion, plus ou moins uniforme. Le pollen de <i>Picea</i> , de <i>Pinus banksiana</i> , de <i>Populus</i> , de <i>Quercus</i> et des herbes domine, avec des pourcentages oscillant entre 10 et 20 %. Le pollen de <i>Juniperus</i> est présent (< 5 %). La CP est minimale.	PM/SBb (?) ouverte

Les diagrammes polliniques postglaciaires des sites des secteurs Nord (PL-N : sites GB2 et LG409) et Sud (PL-S : sites LG406P et LG412) de la PL sont segmentés en 4 ZAP (figure 15). Pour un même secteur, la chronologie des ZAP des sites est synchrone. De plus, la palynostratigraphie des deux secteurs est semblable (figure 16). Toutefois, les différents ZAP débutent environ 500 ans plus tôt dans le secteur Sud de la PL que dans le secteur Nord. La végétation reconstituée de l'époque des ZAP est livrée à la figure 17. Les ZAP des deux secteurs de la PL sont décrites au tableau 4a et résumées ci-dessous.

4.3.1.1.1 ZAP 1 (taxons clés : *Populus*, herbes)

Les assemblages de la ZAP basale sont antérieurs à 6300 ans AA dans le secteur Nord (PLN1) et à 6900 ans AA dans le secteur Sud (PLS1). Les pourcentages de pollen des herbes et de *Populus* sont maximaux dans cette ZAP. Le pollen de *Betula* et d'*Alnus crispa* domine la ZAP dans le secteur Sud, alors que celui de *Picea* et de *Betula* domine la ZAP du secteur Nord. La concentration pollinique est minimale, et le TAP moyen est $< 2500 \text{ grains} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

Les assemblages de la ZAP basale peuvent être interprétés comme une végétation de toundra forestière, relativement homogène sur le territoire. Les épinettes noires étaient sans doute rares dans la région, et les herbes et les arbustes, plus abondants qu'aujourd'hui.

4.3.1.1.2 ZAP 2 (taxons clés : *Betula*, *Alnus crispa*)

Cette ZAP (PLN2, PLS2) est d'une durée d'env. 2000 ans dans les deux secteurs. Dans le secteur Nord, son début est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage de pollen d'*Alnus crispa*, suivie d'une augmentation du pourcentage de *Betula*. Dans le secteur Sud, son début est plutôt souligné par une augmentation abrupte du pourcentage de *Picea*. Dans les deux secteurs, le pourcentage de *Picea* augmente graduellement de la base au sommet de la ZAP. Les pourcentages des herbes et de *Populus* chutent. La concentration pollinique augmente, et le TAP moyen est d'env. $12000 \text{ grains} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

On peut interpréter les assemblages de cette ZAP (env. 6600-4600 ans AA) comme une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens (TF/PL). La part de toundra forestière est plus importante dans le secteur Nord. L'épinette noire s'implante dans le secteur Sud de la région. La végétation du secteur Sud s'approche davantage de la pessière à lichens.

4.3.1.1.3 ZAP 3 (taxon clé : *Picea*)

La troisième ZAP (PLN3, PLS3) est de plus courte durée dans le secteur Sud de la PL (PLS3 : env. 1200 ans) que dans le secteur Nord (PLN3 : env. 1700 ans). Dans le secteur Nord, le pourcentage de *Picea* augmente continuellement de la base au sommet, alors qu'il reste semblable à celui de la ZAP précédente dans le secteur Sud. Pour l'ensemble de la PL, le début de cette ZAP est marqué par une augmentation du pourcentage de *Pinus banksiana*, mais celui-ci est toutefois légèrement plus élevé dans le secteur Sud (PLS3 : $> 3 \%$) que dans le secteur Nord (PLN3 : $2,5 \%$). Dans ce secteur, le TAP moyen diminue légèrement (env. $10000 \text{ grains} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$) comparativement à la ZAP précédente. Le TAP est maximal au site LG412, dans le secteur Sud, avec une valeur moyenne $> 20000 \text{ grains} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

Les assemblages de cette ZAP (env. 4600-3200 ans AA), dominée par le pollen de *Picea*, témoignent principalement d'une végétation de pessière à lichens (PL). Le couvert forestier est plus dense que précédemment. Toutefois, le couvert arborescent est encore épars, car le pollen des aulnes crispés est toujours relativement abondant. Les épinettes noires abondent à proximité des sites, et le pin gris s'implante dans le secteur Sud.

4.3.1.1.4 ZAP 4 (taxons clés : *Picea*, *Pinus banksiana*)

La ZAP sommitale (PLN4, PLS4) caractérise bien les assemblages actuels de la PL. Le pourcentage de *Picea* (50 %) et de *Pinus banksiana* est maximal dans cette ZAP. À l'inverse, les pourcentages de *Betula* et d'*Alnus crispa* sont minimaux. Le pollen de *Larix* est continuellement présent. Un délai de près de 1000 ans sépare le début de la ZAP des deux secteurs. Il est donc possible que la végétation que nous observons aujourd'hui dans le secteur Sud de la PL ait été présente il y a env. 3500 ans, et que celle du secteur Nord se soit implantée plus tardivement, soit il y a env. 2500 ans. Dans les deux secteurs, le TAP moyen de cette ZAP est légèrement plus faible que celui de la ZAP précédente.

Les assemblages de la ZAP sommitale (env. 3200 ans AA à aujourd'hui) s'interprètent comme une végétation de pessière à lichens (PL) riche en épinettes noires, en mélèzes et sans doute en pins gris, malgré la surreprésentation pollinique de l'espèce. Les bouleaux et les aulnes crispés sont plus rares qu'auparavant. Le couvert forestier est un peu plus ouvert que celui de la période précédente. La recrudescence des feux de forêt vers 3000 ans AA dans la taïga pourrait en être la cause (cf. Bremond *et al.* 2010).

4.3.1.2 Domaine de la pessière à mousses

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites du domaine bioclimatique de la pessière à mousses (PM) sont dominés par le pollen de *Picea* (figure 14b). Le pollen de *Betula* est également abondant, notamment dans le secteur Est (CH2, DES). Le pollen de *Pinus* est, en contrepartie, plus abondant dans l'ouest (CRATES, PESS). Le pourcentage de *Picea* est maximal (> 50 %) au centre de la région (PESS : long. 79° O., CH2 : long. 75° O.) et le pollen d'*Abies* est mieux représenté en périphérie (CRATES : long. 81° O., DES : long. 73° O.).

Les diagrammes polliniques postglaciaires des sites du secteur Ouest (PM-O : CRATES, PESS) et Est (PM-E : CH2, DES) de la PM sont segmentés en 6 ZAP (figure 15). Contrairement aux sites de la PL, la palynostratigraphie des sites diffère entre ces deux secteurs (figure 16). En effet, des ZAP du secteur Ouest sont absentes du secteur Est et vice-versa (PMO4, PME5). Même si la chronologie des ZAP des sites d'un même secteur est relativement synchrone (figure 15), on notera que les ZAP des sites PESS et CH2, au centre de la PM, sont généralement de plus courte durée que celles des sites en périphérie (CRATES et DES). La végétation reconstituée de l'époque des ZAP est livrée à la figure 17. Les ZAP des secteurs Est et Ouest de la PM sont décrites au tableau 4b et résumées ci-dessous.

4.3.1.2.1 ZAP 1 (taxons clés : *Pinus banksiana*, *Picea*, *Quercus*, *Alnus crispa*, *herbes*)

Les assemblages de la ZAP basale (PMO1, PME1) sont antérieurs à env. 10000 ans AA dans le secteur Ouest (PMO1) et à env. 9300 ans AA dans l'est (PME1). La ZAP PMO1 est absente au site PESS. Le pollen des herbes est maximal dans cette ZAP. Le pollen de *Picea*, de *Quercus* et de *Betula* est présent. Le pollen de *Pinus banksiana* est abondant dans le secteur Ouest, et celui d'*Alnus* est abondant dans le secteur Est. La concentration pollinique est minimale et le TAP moyen est < 2000 grains·cm⁻²·an⁻¹.

La végétation du début de la déglaciation était très clairsemée et sans doute hétérogène sur le territoire. Les assemblages polliniques montrent que la végétation du secteur Ouest était différente de celle présente dans le secteur Est. Une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens colonisait probablement les sols de la région. Le pin gris et l'épinette noire étaient sans doute présents localement. Les aulnes crispés abondaient dans le secteur Est.

4.3.1.2.2 ZAP 2 (taxons clés : *Betula*, *Populus*, *Abies*)

Cette ZAP (PMO2, PME2) est de plus courte durée dans le secteur Est. Elle débute et se termine environ 500 ans plus tôt dans le secteur Est (PME2) que dans le secteur Ouest (PMO2). Dans les deux secteurs, cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte du pollen de *Betula* et par une chute du pollen des herbes et d'*Alnus crispa*. Le pollen de *Picea* est présent dans les assemblages, mais le pourcentage de *Betula* excède toujours celui de *Picea*. Dans le secteur Ouest, c'est le pourcentage de *Pinus banksiana* qui excède celui de *Picea*. Le pollen de *Populus* et celui de *Quercus* sont les plus abondants dans le secteur Ouest du territoire, tandis que dans le secteur Est, ils sont légèrement moins abondants que dans la ZAP précédente (PME1). La concentration pollinique augmente. Le TAP moyen est d'env. 3500 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest de la PM et d'env. 5500 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

Cette zone marque l'afforestation du territoire. À cette époque (env. 9700-8000 ans AA), le couvert végétal se densifie. On peut interpréter les assemblages comme une pessière à mousses ouverte, et ce, pour les deux secteurs. Le pourcentage de *Picea* (< 30 %) est faible pour une PM. Toutefois, comme nous l'avons mentionné précédemment (voir la section 4.1.3), si le pourcentage de *Betula* ou de *Pinus banksiana* excède celui de *Picea*, mais que ce dernier est tout de même important (p. ex. > 15 %) et que le pollen d'*Alnus crispa* est rare ou absent, l'assemblage peut être interprété comme une PM ouverte. Ainsi, à cette époque, le pin gris et les bouleaux étaient bien représentés sur le territoire et les épinettes noires étaient plus abondantes que précédemment (PMO1 et PME1). La végétation était toujours hétérogène à travers le territoire. Les sols du secteur Ouest abritaient des populations de peupliers, alors que les aulnes crispés étaient toujours présents dans le secteur Est.

4.3.1.2.3 ZAP 3 (taxon clé : *Pinus strobus*)

Le début de la troisième ZAP (PMO3, PME3) est relativement synchrone dans l'ensemble des sites (env. 8000 ans AA). Dans les deux secteurs, son début est marqué par une augmentation du pourcentage de *Picea* et de *Pinus strobus* concomitants à une diminution du pourcentage de *Betula*. D'un secteur à l'autre, les pourcentages des différents taxons ne sont pas uniformes. Par exemple, le pourcentage de *Pinus strobus* est plus élevé dans le secteur Ouest (15 %) que dans le secteur Est (< 10 %). Pour l'ensemble du territoire, les pourcentages de *Quercus* et de *Populus* diminuent de la base au sommet de la ZAP, alors que celui

d'*Alnus incana* augmente. Cette ZAP est d'une durée d'env. 2 400 ans dans le secteur Est du territoire (CH2, DES). Le TAP augmente dans les deux secteurs et atteint env. 12 000 grains·cm⁻²·an⁻¹.

À noter que dans les sites du secteur Ouest (CRATES, PESS), la ZAP PMO3 est entrecoupée d'une autre, PMO4, riche en pollen de Cupressaceae, probablement de *Thuja*, d'après les macrorestes identifiés par Liu (1982, 1990). Cette ZAP, absente des sites du secteur Est, est décrite plus en détail à la section 4.3.1.2.4.

La ZAP 3 marque le début de la phase forestière (env. 8 000 ans AA) dans le domaine de la pessière à mousses. Le couvert arborescent de cette époque était relativement dense. Les épinettes noires sont de plus en plus abondantes au détriment des pins gris, des bouleaux, des aulnes crispés et des peupliers. Les pins blancs étaient sans doute présents au sud de la région, notamment dans le secteur Ouest. La présence d'espèces plus thermophiles comme le pin blanc suggère que le climat était plus clément à cette époque que l'actuel. Les assemblages polliniques de cette ZAP peuvent être interprétés comme une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) ou encore comme une végétation de sapinière à bouleau blanc (SBb). Nous avons précédemment souligné que la distinction pollinique entre la PM et la SBb est équivoque (voir la section 4.1.1). Dans le secteur Ouest, l'observation de pourcentages de *Picea* relativement faibles (env. 30 % au site PESS) et l'abondance de grains de *Pinus* et de *Betula* dans les assemblages indiquent une végétation de SBb. Dans le secteur Est, le pourcentage plus élevé de *Picea*, notamment au site CH2 (env. 45 %), suggère plutôt une végétation de PM/SBb. Au site CH2, le pourcentage de *Betula* est trop élevé (35-40 %) pour suggérer une végétation de PM. Au site DES, le plus à l'est, il est possible que la végétation se soit rapprochée davantage de la SBb que de la PM/SBb. Quoi qu'il en soit, les assemblages de tous les sites suggèrent une végétation plus thermophile que celle présente aujourd'hui.

4.3.1.2.4 ZAP 4 (taxons clés : *Thuja*, *Pinus strobus*)

La ZAP PMO4 est exclusive aux sites du secteur Ouest (CRATES, PESS) et dure environ 1 400 ans. Elle est marquée par une augmentation du pourcentage de *Thuja*. Celle-ci est plus prononcée au site CRATES, en Ontario. Le pollen de *Pinus strobus* est toujours abondant dans les assemblages. De la base au sommet, le pourcentage de *Picea* augmente. Il est toutefois inférieur à 40 %. Le TAP augmente légèrement à 14 500 grains·cm⁻²·an⁻¹.

Dans le secteur Est (CH2, DES), la période d'env. 6 500 à 5 500 ans AA est marquée par une légère augmentation du pollen de *Betula*. La végétation de cette époque est comparable à celle de la ZAP PME3, soit une végétation de PM/SBb, riche en épinettes noires et en bouleaux.

Dans le secteur Ouest (CRATES, PESS), des populations de thuyas étaient abondantes dans les environs. Tout comme pour la ZAP précédente (PMO3), les assemblages de la ZAP PMO4 peuvent être interprétés comme une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) ou encore comme une sapinière à bouleau blanc (SBb). Il est possible qu'au site CRATES, en Ontario, la végétation était une SBb et qu'une PM/SBb colonisait les environs du site PESS, un peu plus à l'est. Au site CRATES, le pourcentage de *Picea* est comparable à celui de la ZAP précédente (15-20 %), alors qu'au site PESS, il est plus important (PMO3 : env. 30 %, PMO4 : env. 35 %). On peut suggérer qu'à cette époque, les épinettes noires étaient de plus en plus abondantes dans les environs du site PESS, dans la portion centrale du territoire étudié de la PM. De même, au site CH2 du secteur Est, la végétation de cette époque était une PM/SBb riche en épinettes noires. Au site DES, le plus à l'est, la végétation s'approchait davantage de la SBb, comme au site CRATES, le plus à l'ouest.

4.3.1.2.5 ZAP 5 (taxon clé : *Betula*)

Le pollen de *Betula* et de *Picea* domine cette ZAP (PMO5, PME4). Son début (env. 5 600 ans AA) est relativement synchrone dans tout le territoire. C'est dans cette ZAP que le pourcentage de *Betula* est maximal. Dans le secteur Est, le pourcentage de *Betula* atteint 50 % et celui de *Picea* est légèrement plus faible dans cette ZAP (PME4) que dans la ZAP précédente (PME3). À l'inverse, dans le secteur Ouest, le pourcentage de *Picea* est plus élevé dans cette ZAP (PMO5), et le pourcentage de *Thuja* diminue de la base au sommet. Dans les deux secteurs, le pollen de *Pinus strobus* est moins abondant que précédemment. Le pourcentage d'*Alnus incana* augmente et il demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Le TAP est maximal dans le secteur Ouest (17 000 grains·cm⁻²·an⁻¹) et il est d'env. 25 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

À cette époque (env. 5 600 à 3 300 ans AA), les épinettes noires et les bouleaux abondaient sur le territoire et la **densité du couvert forestier** était **maximale**. Dans le secteur Ouest, les populations de thuyas déclinent au cours de cette période, tout comme les populations de pins blancs présentes

plus au sud. La végétation des deux secteurs est plus homogène que celle des périodes précédentes. Les assemblages polliniques et le TAP suggèrent qu'une végétation dense de PM/SBb colonisait les sols des sites du secteur Ouest et du secteur Est. Puisqu'une partie des analogues des sites de la région centrale (PESS, CH2) provient de la PL, on peut supposer que, pour cette partie du territoire, la part de PM dans la végétation était plus importante que celle de la SBb.

4.3.1.2.6 ZAP 6 (taxons clés : *Picea*, *Pinus banksiana*, *Abies*)

Le début de cette ZAP (PMO6, PME5, PME6) est marqué par une augmentation du pollen de *Picea* qui survient plus tôt dans le secteur Est (PME5 : env. 3600 ans AA) que dans le secteur Ouest (PMO6 : env. 2900 ans AA) du territoire. Le pollen de *Picea* est maximal (> 50 %) dans cette ZAP. Dans les deux secteurs, les assemblages polliniques des sédiments sommitaux sont également marqués par une augmentation du pourcentage de *Pinus banksiana* (> 10 %). Dans le secteur Est, l'augmentation du pollen de *Pinus banksiana* est postérieure à celle de *Picea* et elle permet la distinction d'une seconde ZAP (PME6). Les deux ZAP du secteur Est (PME5 et PME6) peuvent cependant être regroupées et comparées à la ZAP PMO6. La subdivision de la ZAP sommitale des sédiments des sites du secteur Est permet toutefois de souligner l'augmentation plus tardive, vers 2500 ans AA, de *Pinus banksiana* dans l'est du territoire. Dans l'ensemble, le pollen d'*Abies* est toujours présent et est légèrement plus abondant que dans la ZAP précédente, riche en *Betula*. Dans le secteur Est, le pourcentage de *Betula* diminue de la base au sommet (< 35 %) de la ZAP (PME5 et PME6). Dans le secteur Ouest, *Betula* est légèrement moins abondant que dans la ZAP précédente. Dans le secteur Ouest, le TAP (env. 16000 grains·cm⁻²·an⁻¹) est comparable à celui de la ZAP précédente. Dans le secteur Est, le TAP est maximal à la base de la ZAP (PME5 : env. 35000 grains·cm⁻²·an⁻¹), puis il diminue au sommet (PME6 : env. 17000 grains·cm⁻²·an⁻¹).

Cette ZAP marque l'époque de l'implantation de la pessière à mousses telle qu'on l'observe aujourd'hui. Elle s'est mise en place environ 500 ans plus tôt dans le secteur Est (env. 3600 ans AA) que dans le secteur Ouest (env. 2900 ans AA). Les épinettes noires sont dominantes et les pins gris sont de plus en plus abondants, notamment après env. 2500 ans AA. Le pourcentage élevé de *Picea* et le TAP suggèrent une végétation dense de PM. Par la suite, la diminution du TAP et l'augmentation du pourcentage de *Pinus banksiana* suggèrent

une légère ouverture de la couverture forestière de la PM.

4.3.1.3 Domaine de la sapinière à bouleau blanc

Les assemblages polliniques postglaciaires des sites du domaine de la sapinière à bouleau blanc (SBb) sont caractérisés par le pollen d'*Abies balsamea*, toujours en faible quantité, mais les assemblages sont dominés par le pollen de *Betula* et de *Pinus banksiana/strobus* (figures 14c et 14d). Le pollen de *Betula* est tout particulièrement abondant dans le secteur Est (SFS, PRU, COUCH, FLEVY). Le pollen de *Pinus banksiana* et de *Picea* est plus abondant dans le secteur Ouest (SIX, FRANC, YELLE, CLO). Le contraste de végétation entre les secteurs Ouest et Est de la SBb est donc bien marqué dans les assemblages polliniques des sites. Dans l'ensemble, le pollen d'*Abies* est plus abondant dans l'est du territoire. Les limites des différentes ZAP sont généralement bien définies dans le secteur Ouest. Elles sont marquées par des augmentations abruptes de divers taxons. Dans le secteur Est, les limites des ZAP sont plus estompées. Dans ce secteur, les pourcentages des taxons sont relativement stables depuis env. 8000 ans AA. Certaines ZAP du secteur Est pourraient être groupées.

Les diagrammes polliniques postglaciaires des sites du secteur Ouest (SBb-O : SIX, FRANC, YELLE et CLO) sont segmentés en 7 ZAP, alors que ceux des sites du secteur Est (SBb-E : SFS, PRU, COUCH et FLEVY) en comportent 6 (figure 15). Pour un même secteur, la palynostratigraphie des sites de la SBb est très comparable à celle des sites de la PM, et tout comme pour la PM, la palynostratigraphie des sites du secteur Ouest est différente de celle des sites du secteur Est (figure 16). Encore une fois, une ZAP riche en *Thuja* (SBO4) est observée uniquement dans le secteur Ouest. Dans l'ensemble, les ZAP des sites du secteur Est de la SBb sont relativement synchrones (figure 15). Il pourrait toutefois y avoir un léger délai d'environ 500 ans entre les ZAP du site le plus à l'ouest (SFS : long. 72° O.) et celle des sites les plus à l'est (COUCH et FLEVY : long. 71° O.). Dans le secteur Ouest de la SBb, les ZAP du site FRANC affichent toutes un retard d'env. 1000 ans par rapport à celles des autres sites (SIX, YELLE, CLO). Le type de matériel daté pourrait expliquer cet asynchronisme (voir aussi la note au début de la section 5.2). La végétation reconstituée de l'époque des ZAP est livrée à la figure 17. Les ZAP des deux secteurs de la SBb (Ouest : SBO, Est : SBE) sont décrites au tableau 4c et résumées ci-dessous.

4.3.1.3.1 ZAP 1 (taxons clés : *Pinus banksiana*, *Picea*, *Quercus*, *Alnus crispa*, herbes)

Les assemblages de la ZAP basale sont antérieurs à env. 8700 ans AA dans le secteur Ouest (SBO1) et à env. 9600 ans AA dans le secteur Est (SBE1). L'assemblage pollinique initial des sites du secteur Ouest est cependant distinct de celui des sites du secteur Est. Dans le secteur Ouest, le pollen de *Pinus banksiana* (> 25 %) domine la ZAP; le pollen de *Picea* et celui de *Betula* sont également abondants. Dans le secteur Est, le pollen d'*Alnus crispa* et de *Betula* domine la ZAP. Dans la ZAP SBE1, le pourcentage de *Betula* est minimal (< 25 %) et celui de *Picea* et de *Pinus banksiana* est > 10 %. Dans les deux secteurs, le pollen des herbes, de *Quercus* et de *Populus* est présent. La concentration pollinique est minimale dans cette ZAP. Le TAP moyen est d'env. 1000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest (FRANC) et < 6000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

La végétation du début de la période post-glaciaire était ouverte, et différente dans les secteurs Ouest et Est. Une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc colonisait probablement les sols de la région. Le pin gris et l'épinette noire étaient présents dans le secteur Ouest. Dans le secteur Est, les aulnes crispés étaient abondants. Ces assemblages des sites du secteur Est, riches en pollen d'*Alnus crispa*, sont toutefois plus vieux (env. 1000 ans) que ceux du secteur Ouest. Ils pourraient être interprétés comme une végétation de toundra forestière ou de pessière à lichens.

4.3.1.3.2 ZAP 2 (taxons clés : *Betula*, *Populus*, *Abies*, *Alnus crispa*)

Cette ZAP (SBO2, SBE2) du domaine de la sapinière débute environ 1000 ans plus tôt dans le secteur Est (env. 9600 ans AA) que dans le secteur Ouest (env. 8700 ans AA). Tout comme pour les sites CH2 et DES de la PM-E, elle se termine environ 500 ans plus tôt dans le secteur Est (SBE2) que dans le secteur Ouest (SBO2). Dans les deux secteurs, cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte du pollen de *Betula*. L'augmentation du pourcentage de *Betula* à 9000 ± 500 ans AA est plus importante dans le secteur Est (55 %) que dans le secteur Ouest (30 %). Dans le secteur Est, le pourcentage d'*Alnus crispa* chute et dans le secteur Ouest, le pollen des herbes et de *Pinus banksiana* est moins abondant. Dans les deux secteurs, le pourcentage de *Picea* diminue de la base au sommet de la ZAP. Dans le secteur Ouest, le pollen de *Populus* (15 %) est maximal dans cette ZAP, alors que dans le secteur Est, c'est le pollen d'*Abies* qui atteint sa valeur maximale (5 %). Dans l'ensemble, le pollen

de *Quercus* est moins abondant que dans la ZAP précédente et celui de *Larix*, plus abondant. La concentration pollinique augmente et le TAP moyen est d'env. 3500 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest et d'env. 10000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

Cette ZAP marque l'afforestation du territoire, qui a été de plus courte durée dans le secteur Ouest (env. 1000 ans) que dans le secteur Est (env. 1500 ans). À cette époque, le couvert végétal se densifie. On peut interpréter les assemblages comme une végétation de sapinière à bouleau blanc en raison de la représentation pollinique continue du sapin, et ce, pour les deux secteurs. Le pin gris et les épinettes noires sont moins abondants que précédemment (SBO1 et SBE1). Ce sont principalement les sapins et bouleaux qui occupent alors les sols de la région. Les mélèzes étaient sans doute abondants localement. Dans l'ouest, les peupliers étaient plus abondants qu'actuellement et dans l'est, les aulnes crispés étaient toujours présents.

4.3.1.3.3 ZAP 3 (taxon clé : *Pinus strobus*)

Dans les deux secteurs, le début de la troisième ZAP (SBO3, SBE3), vers 7900 ans AA, est marqué par une augmentation du pourcentage de *Pinus strobus* et par une diminution concomitante de *Populus* et de *Pinus banksiana* dans le secteur Ouest (SBO3) et d'*Abies* et de *Betula* dans le secteur Est (SBE3), où le pollen de *Betula* (40 %) domine toujours l'assemblage. Dans les deux secteurs, le pollen de *Picea* (5 %) est minimal dans cette ZAP. Parmi les sites de la SBB, le pourcentage de *Pinus strobus* de cette ZAP est minimal au site le plus à l'est (20 % à FLEVY : long. 71° O.) et semble être maximal au site le plus à l'ouest (SIX : long. 81° O.). Au site SIX, le pourcentage de *Pinus strobus* est d'env. 25 % et celui de *Pinus banksiana* est d'environ 30 %. Au microscope, la distinction des deux espèces de pins n'est pas toujours évidente. Puisque le pourcentage de *Pinus banksiana* est beaucoup plus faible (10 %) dans les autres sites du secteur Ouest (FRANC, YELLE, CLO), il est possible que le pourcentage de *Pinus strobus* au site SIX soit plus élevé que notre estimation. Aux sites FRANC, YELLE et CLO, le pourcentage de *Pinus strobus* est d'env. 35 %. Dans le secteur Est, le pourcentage d'*Alnus incana* augmente, et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Le TAP augmente légèrement dans les deux secteurs, pour atteindre env. 5000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest et env. 12000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

Tout comme pour la ZAP riche en *Pinus strobus* des sites de l'ouest de la PM (PMO3 : CRATES, PESS), la ZAP SBO3 du secteur Ouest de la SBB

est entrecoupée d'une autre (SBO4), riche en pollen de Cupressaceae, probablement de *Thuja*. La ZAP SBO4, absente des sites du secteur Est, est décrite plus en détail à la section 4.3.1.3.4.

La ZAP 3 marque le début de la phase forestière, légèrement plus tardif dans le secteur Ouest (env. 7 600 ans AA) que dans le secteur Est (env. 8 100 ans AA). Le couvert végétal à cette époque se densifie. Les épinettes noires, les peupliers et les sapins sont plus rares sur le territoire, mais le sapin, fortement sous-représenté par son pollen, domine les peuplements. Les populations de bouleaux sont comparables à celles de l'époque précédente. Quelques pins blancs étaient sans doute présents dans la région, ou encore plus au sud. Le remplacement des espèces boréales par des espèces plus thermophiles, comme le pin blanc, suggère une végétation de forêt mixte, possiblement une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune. Le pourcentage de *Picea* (5 %) est trop faible pour conclure à une végétation de sapinière à bouleau blanc.

4.3.1.3.4 ZAP 4 (taxons clés : *Thuja*, *Pinus strobus*)

Cette ZAP (SBO4) est exclusive aux sites du secteur Ouest (SIX, YELLE, FRANC, CLO). Elle débute vers 6 600 ans AA, presque comme dans la ZAP PMO4 dans le secteur Ouest de la PM, mais se termine un peu plus tard, vers 4 700 ans AA. Elle est marquée par une augmentation abrupte du pourcentage de *Thuja* (> 25 %), moins prononcée au site SIX, en Ontario. Le pollen de *Pinus strobus* (20 %) est toujours abondant dans les assemblages. De la base au sommet, les pourcentages de *Thuja* et de *Pinus strobus* diminuent, et celui de *Betula* augmente. Le pourcentage de *Picea* augmente légèrement, mais demeure < 10 %. Le pourcentage d'*Abies* est faible (< 1 %), et même nul pour quelques échantillons au site FRANC. Le pourcentage d'*Alnus incana* augmente, et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Le TAP augmente légèrement à env. 8 000 grains·cm⁻²·an⁻¹.

Dans le secteur Est, la végétation de cette époque (env. 6 500-4 500 ans AA) est comparable à celle de la ZAP précédente, soit une végétation de SBb/SBj, riche en bouleaux. À la même époque, dans le secteur Ouest, des populations de thuyas colonisaient les terrains autour des sites. Progressivement, au cours de cette période, les populations de thuyas déclinent au profit des bouleaux. Les pins blancs sont toujours présents dans les environs, mais leur abondance décline graduellement. Les épinettes noires sont légèrement plus abondantes que précédemment (SBO3). Le cortège forestier est

différent de celui de l'époque précédente, mais sur le plan bioclimatique, les assemblages témoignent toujours d'une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune. Encore une fois, le pourcentage de *Picea* (10 %) est trop faible pour conclure à une SBb. Par exemple, un assemblage avec un pourcentage de *Pinus* modéré (< 30 %) associé à un pourcentage d'*Abies* élevé témoignerait d'une SBb (Richard 1968). Le pourcentage de *Pinus* (*P. banksiana* et *P. strobus*) (36 %) des 4 sites est légèrement trop élevé, et celui d'*Abies* (< 1 %), trop faible pour une SBb. Les assemblages de cette ZAP pourraient même témoigner d'une cédrière à sapins tant la représentation pollinique du *Thuja* est élevée. Ce serait alors là, à cette époque, un domaine de végétation sans analogue moderne. Au site FRANC, là où les pourcentages de *Thuja* sont les plus élevés, la dissimilarité (SCD) entre les assemblages de la ZAP et les assemblages analogues est grande (> 0,20) (supplément 4). En outre, l'assemblage pollinique où *Thuja* est maximal (50 % à 236 cm, env. 5 500 ans AA) est sans analogue.

4.3.1.3.5 ZAP 5 (taxon clé : *Betula*)

Dans les deux secteurs, le pollen de *Betula* domine la ZAP (SBO5, SBE4). Son début est centré à env. 5 000 ans AA. Dans l'ouest, le pourcentage de *Betula* est maximal dans cette ZAP (SBO5 : 35 %). Dans l'est, son pourcentage atteint 55 % (SBE4). Dans l'ensemble, cette ZAP est marquée par une augmentation du pourcentage de *Betula* concomitante à une diminution du pourcentage de *Pinus strobus*. Dans le secteur Ouest (SBO5), le pourcentage de *Thuja* diminue de la base au sommet de la ZAP et le pourcentage de *Picea* augmente (12 %, SBO4 : 8 %). Le TAP du secteur Ouest (env. 8 500 grains·cm⁻²·an⁻¹) est comparable à celui de la ZAP précédente, riche en *Thuja*. Dans l'est du territoire, le TAP augmente, notamment aux sites les plus à l'est (COUCH, FLEVY : env. 25 000 grains·cm⁻²·an⁻¹).

À cette époque (env. 5 400-4 700 à 3 800-2 900 ans AA), les bouleaux étaient répandus sur le territoire, au sein des peuplements de sapin, et le couvert forestier était légèrement plus dense que précédemment. Dans le secteur Ouest, les thuyas et les pins blancs sont de moins en moins abondants au profit des épinettes noires. Dans le secteur Est, les populations de pins blancs déclinent et celles d'épinettes noires augmentent légèrement. Contrairement au secteur Ouest, où les bouleaux sont beaucoup plus abondants que précédemment, la proportion de bouleaux dans le cortège forestier dans le secteur Est était relativement comparable

à celle de la période précédente. Tout comme pour les sites de la PM, la végétation des deux secteurs est plus homogène que celle des périodes précédentes. Les assemblages polliniques et le TAP suggèrent qu'une végétation dense de SBb/SBj colonisait les sols des sites des deux secteurs. Les pourcentages plus élevés de *Picea* dans le secteur Ouest (15 %) suggèrent que la végétation de ce secteur s'approchait davantage de la SBb que celle du secteur Est.

4.3.1.3.6 ZAP 6 (taxon clé : *Pinus banksiana*, *Pinus*)

Le début de cette ZAP (SBO6, SBE5) est marqué par une diminution du pollen de *Pinus strobus* (10 %). Comme pour la PM (PMO6 et PME5), cette ZAP commence plus tard dans le secteur Ouest (SBO6, env. 2900 ans AA) que dans le secteur Est (SBE5, env. 3800 ans AA). Dans le secteur Ouest, le pourcentage de *Pinus banksiana* augmente à la base de la ZAP (SBO6). L'augmentation de *Pinus banksiana* est beaucoup plus subtile dans le secteur Est, où l'on note aussi une légère augmentation du pourcentage d'*Abies*. Pour les deux secteurs, le pourcentage de *Betula* est comparable à celui de la ZAP précédente (SBO5 et SBE4), et on note également une légère augmentation du pourcentage de *Picea*. Le TAP augmente dans le secteur Ouest (env. 10 000 grains·cm⁻²·an⁻¹) et il demeure élevé dans le secteur Est (env. 20 000 à 25 000 grains·cm⁻²·an⁻¹).

Cette ZAP, d'une durée d'env. 1 300 ans dans les deux secteurs, se caractérise par un retrait des populations de pins blancs au profit des espèces forestières boréales comme les pins gris, les épinettes noires et les sapins. Dans le secteur Ouest, les pins gris sont notablement plus abondants que précédemment (SBO5). Dans les deux secteurs, ce sont toujours les bouleaux qui dominent les assemblages polliniques, bien qu'ils soient beaucoup moins représentés dans la végétation (Richard 1968). En effet, malgré de faibles pourcentages, c'est le sapin (*Abies*) qui domine clairement les peuplements (Richard 1977). Dans les assemblages, le pourcentage de *Picea* relativement élevé (15 %) et celui plus faible de *Pinus strobus* (10 %) suggèrent une végétation de SBb. Toutefois, comme pour la ZAP précédente, les assemblages pourraient également être interprétés comme une SBb/SBj, avec une part de SBb plus importante que celle de la SBj.

4.3.1.3.7 ZAP 7 (taxons clés : *Picea*, *Abies*)

Pour les deux secteurs, la ZAP sommitale (SBO7, SBE6) pourrait être groupée à la ZAP précédente (SBO6, SBE5). Essentiellement, cette ZAP se distingue de la précédente par une augmentation du pourcentage de *Picea*. Cette

augmentation est concomitante à une diminution du pourcentage de *Betula*. Le pourcentage d'*Abies* augmente également dans cette ZAP ainsi que celui de *Pinus banksiana*. Le pourcentage de *Pinus strobus* est faible (< 10 %). Le TAP augmente dans le secteur Ouest (env. 15 000 grains·cm⁻²·an⁻¹) et il diminue dans le secteur Est, notamment aux sites SFS (10 000 grains·cm⁻²·an⁻¹) et FLEVY (5 000 grains·cm⁻²·an⁻¹).

Depuis env. 2 000 ans, les espèces boréales sont de plus en plus abondantes dans la végétation. Dans le secteur Ouest, ce sont principalement les populations d'épinettes noires et les pins gris, alors que dans le secteur Est, ce sont plutôt les sapins. Dans les deux secteurs, les bouleaux sont moins abondants que précédemment et les pins blancs sont rares. Le pourcentage relativement élevé de *Picea* (> 15 %) et celui plus faible de *Pinus strobus* (< 10 %) suggèrent une végétation de SBb. Sa densité est comparable, ou légèrement plus faible, que celle de l'époque précédente.

4.3.1.4 Domaine de la sapinière à bouleau jaune

Les assemblages polliniques des sites du domaine de la sapinière à bouleau jaune (SBj) sont dominés par le pollen de *Betula* et de *Pinus banksiana/strobus* (figure 14e). Le pollen de *Picea* est faiblement représenté. Dans l'ensemble, le pollen d'*Abies*, toujours en faible proportion mais bien caractéristique des domaines de la sapinière, est plus abondant dans l'est du territoire. En ce qui concerne le pollen, la différence entre les secteurs Ouest (LOUIS, CGC27) et Est (BRIDE, MART) du territoire n'est pas aussi bien marquée que dans les sites de la sapinière à bouleau blanc. Dans les deux secteurs, les limites des ZAP sont relativement bien définies. Elles sont généralement marquées par des augmentations abruptes des taxons, notamment dans la moitié inférieure des séquences, soit avant env. 5 000 ans AA.

Les diagrammes polliniques des sites des secteurs Ouest (SJO : LOUIS, CGC27) et Est (SJE : BRIDE, MART) sont segmentés en 5 ZAP (figure 15). Contrairement à la PM et à la SBb, où un contraste était observé entre l'ouest et l'est du territoire, la palynostratigraphie des sites des deux secteurs de la SBj est très semblable (figure 16). Aucune ZAP n'est présente dans un secteur et absente de l'autre : par exemple, la ZAP à *Thuja* des secteurs Ouest de la PM (PMO4) et de la SBb (SBO4). De plus, la chronologie des ZAP des deux secteurs de la SBj est synchrone. La végétation reconstituée de l'époque des ZAP est livrée à la figure 17. Les ZAP des deux secteurs de la SBj sont décrites au tableau 4d et résumées ci-dessous.

4.3.1.4.1 ZAP 1 (taxons clés : *Pinus banksiana*, *Picea*, *Quercus*, *Alnus crispa*, *herbes*)

Les assemblages de la ZAP basale (SJO1, SJE1) sont antérieurs à env. 9400 ans AA dans le secteur Ouest (SJO1) et à env. 10 000 ans AA dans le secteur Est (SJE1). Comme pour la PM et la SBb, l'assemblage pollinique de la ZAP basale est diversifié. Le pollen de *Pinus banksiana*, de *Betula*, de *Quercus* et des herbes est abondant, avec un pourcentage comparable pour les 4 taxons (10-15 %). Le pollen de *Juniperus* est présent à tous les sites et celui d'*Abies* est absent, ou présent en tant que traces uniquement. Le pourcentage d'*Alnus crispa* est faible (5 %). Le pourcentage de *Picea* est maximal au site LOUIS (20 %), le plus à l'ouest (long. 79° O.). Aux sites orientaux (CGC27, BRIDE, MART), le pourcentage de *Picea* est < 10 %, mais en revanche, le pollen de *Populus* est abondant (5-10 %). Au site LOUIS, le pourcentage de *Populus* est < 1 %. La concentration pollinique de la ZAP basale est minimale. Le TAP moyen est d'env. 1500 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans les deux secteurs.

L'assemblage pollinique du début de la période postglaciaire régionale est très diversifié et les grains de pollen observés proviennent sans doute de différentes sources, parfois éloignées. Tout comme pour la PM et la SBb, la végétation dans les environs des sites de la SBj était ouverte. Les épinettes noires et les pins gris étaient présents dans la région, mais ils sont alors sans doute surreprésentés par des apports polliniques lointains. Dans les deux secteurs, des populations de chênes étaient probablement déjà présentes dans les environs, à côté des peupliers et des genévriers. Les assemblages actuels comparables à ceux du début de la période postglaciaire proviennent tous de la forêt mixte. Leur dissimilarité avec les assemblages postglaciaires est cependant grande (SCD de 0,21), traduisant des conditions de représentation pollinique qui n'existent plus, en raison de la disparition des glaces dans les environs. Néanmoins, il est possible qu'une végétation éparse de PM/SBb (à SBb) ait colonisé déjà les sols des environs des sites avant env. 9500 ans AA, mais dans une version dont la signature pollinique est aujourd'hui révolue.

4.3.1.4.2 ZAP 2 (taxons clés : *Betula*, *Abies*, *Alnus crispa*)

Tout comme pour la PM et la SBb, la seconde ZAP de la SBj débute et se termine plus tôt dans le secteur Est (SJE2) que dans le secteur Ouest (SJO2). Sa durée est d'environ 2000 ans. Dans les deux secteurs, le début de cette ZAP est marqué par une augmentation du pollen de *Betula* (25-35 %), d'*Alnus crispa* (10-15 %), d'*Abies* (2 %) et de *Larix* (2 %), et par une chute du pourcentage (< 5 %) du

pollen de *Quercus*, de *Populus*, de *Juniperus* et des herbes. L'augmentation du pourcentage de *Betula* et d'*Alnus crispa* est plus prononcée dans le secteur Est (SJE2). Aux sites LOUIS et BRIDE, le pourcentage de *Pinus banksiana* augmente, alors que celui de *Picea* diminue. Aux sites CGC27 et MART, les pourcentages de ces deux taxons sont comparables à ceux de la ZAP précédente (SJO1, SJE1). Le TAP augmente abruptement dans les deux secteurs. Il atteint env. 6500 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest et env. 12 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est, traduisant la multiplication des populations arborescentes autour des sites, notamment des sapins (voir la courbe du TAP d'*Abies* à la figure 13).

Cette ZAP marque l'afforestation du territoire, qui dure près de 2000 ans. Durant cette période, le couvert végétal se densifie. Dans l'ensemble, le pin gris est plus abondant que lors de la période précédente, et les épinettes noires sont plus rares. Au tout début, des aulnes crispés colonisaient sans doute les versants autour des lacs. Par la suite, ils ont laissé place aux sapins, aux bouleaux et aux mélèzes. Les populations de chênes, de peupliers et de genévriers, caractéristiques de l'époque précédente, déclinent. On peut interpréter les assemblages polliniques des deux secteurs comme appartenant à une sapinière à bouleau blanc, en raison de la représentation soutenue du pollen d'*Abies* (2 % en moyenne).

4.3.1.4.3 ZAP 3 (taxon clé : *Pinus strobus*)

Cette ZAP est de plus longue durée dans le secteur Est (SJE3 : env. 1900 ans) que dans le secteur Ouest (SJO3 : env. 1300 ans). Dans les deux secteurs, son début est marqué par une augmentation abrupte du pourcentage de *Pinus strobus* (> 30 %), alors que le pollen d'*Alnus crispa* (< 5 %) et d'*Abies* (< 1 %) chute et que les pourcentages de *Betula* et de *Pinus banksiana* diminuent (< 15-20 %). Le pourcentage de *Picea* est très faible (< 5 %) pour tous les sites. Contrairement à la ZAP précédente (SJO2 et SJE2), les pourcentages des taxons sont assez semblables dans les assemblages des sites des deux secteurs. Dans l'ensemble, le pourcentage d'*Alnus incana* augmente, traduisant l'instauration d'aulnaies en bordure des lacs, et il demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet des séquences. Dans le secteur Ouest, le TAP augmente légèrement à env. 9000 grains·cm⁻²·an⁻¹, alors qu'il est comparable à la ZAP précédente (SJE2) dans le secteur Est (env. 12 000 grains·cm⁻²·an⁻¹).

Cette ZAP marque le début de la phase forestière. Elle débute près de 1000 ans plus tard dans le secteur Ouest que dans le secteur Est.

Les assemblages suggèrent une végétation de sapinière à bouleau jaune, avec des populations locales de pins blancs. Le pourcentage de *Picea* (< 5 %) est trop faible pour refléter une végétation de SBb/SBj. La densité du couvert végétal est comparable à celle de l'époque précédente. Les espèces boréales, comme les épinettes noires et les pins gris, sont plus rares sur le territoire. Les sapins constituent toujours l'essence dominante dans les forêts (voir la courbe de du TAP d'*Abies* à la figure 13).

4.3.1.4.4 ZAP 4 (taxon clé : *Betula*)

Dans les deux secteurs, le début de cette ZAP (SJO4, SJE4) est centré sur 6000 ans AA. Les pourcentages de *Picea* et de *Pinus banksiana* sont minimaux (< 3 %) dans cette ZAP. De la base au sommet de la ZAP, le pourcentage de *Pinus strobus* diminue et celui de *Betula* augmente. Au sommet de la ZAP, le pourcentage de *Betula* est maximal, et il demeurera constant jusqu'au sommet des séquences. Dans le secteur Ouest, le pourcentage de *Betula* atteint env. 30 % et dans le secteur Est, il est près d'env. 50 %. Dans cette ZAP, le pourcentage d'*Abies* augmente de nouveau, mais très faiblement (1 %). Dans les deux secteurs, le TAP augmente, atteignant env. 13 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest et env. 18 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est.

Le couvert forestier de cette époque (env. 6000 à 4300 ans AA) est plus dense que celui de la période précédente. Comme pour la ZAP précédente, la végétation des deux secteurs est semblable; les bouleaux sont de plus en plus abondants sur le territoire, et les populations de pins blancs déclinent. Par ailleurs, les épinettes noires et les pins gris sont très rares dans la région. Les assemblages suggèrent qu'une végétation de sapinière à bouleau jaune colonisait les sols des deux secteurs. Tout comme pour la période précédente, le pourcentage de *Picea* (< 3 %) est trop faible pour témoigner d'une végétation de SBb/SBj.

4.3.1.4.5 ZAP 5 (taxons clés : *Picea*, *Pinus banksiana*, *Abies*)

La ZAP sommitale débute un peu plus tôt dans le secteur Est (SJE5 : env. 4600 ans AA) que dans le secteur Ouest (SJO5 : env. 4000 ans AA). L'assemblage pollinique de cette ZAP se compare à celui de la ZAP précédente. Essentiellement, cette ZAP se distingue de la précédente par une augmentation du pourcentage de *Picea* (> 5 %) et de *Pinus banksiana* (> 5 %). Le pollen d'*Abies* est de nouveau mieux représenté. Il est toutefois plus abondant dans le secteur Est (> 2 %) que dans le secteur Ouest (1 %). Le pollen de *Betula* est dominant, et son pourcentage est comparable à celui du sommet de la ZAP précédente. Dans le secteur Ouest, le pollen d'*Acer*

est continuellement présent dans la partie supérieure de la ZAP (env. 2500-0 ans AA) (voir le diagramme complet des sites LOUIS et CGC27 à l'annexe 5). Le TAP des deux secteurs se compare à celui de la ZAP précédente (env. 12 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Ouest, et env. 17 000 grains·cm⁻²·an⁻¹ dans le secteur Est).

Contrairement à la PM et à la SBb, la ZAP sommitale des sites de la SBj s'étend sur près de 4500 ans. Dans les deux secteurs, les épinettes noires, les pins gris et les sapins sont plus abondants dans la végétation. Les pourcentages de *Picea* et de *Pinus banksiana* sont faibles (> 5 %), mais plus élevés que précédemment (< 3 %). Les bouleaux sont toujours abondants, et les pins blancs sont de moins en moins présents. La plus grande abondance d'épinettes noires sur le territoire suggère une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) dans les deux secteurs. La densité du couvert forestier est comparable à celle de la période précédente et semble être semblable dans les deux secteurs.

4.3.2 Phases de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec

L'étude de la répartition spatiotemporelle des ZAP des 8 secteurs (section 4.3.1) a permis de circonscrire 6 provinces polliniques postglaciaires pour l'ouest du Québec (figure 16). Celles-ci sont à la base de l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec présentée dans cette section. Elles sont décrites plus en détail au tableau 5.

Certaines provinces polliniques sont communes à l'ensemble des sites du territoire, alors que d'autres sont confinées à un secteur en particulier. Pour les sites de la PL, seule la dernière province (env. 3500 ans AA à aujourd'hui), riche en *Picea* et en *Pinus banksiana*, est observée. À l'exception de la première et de la dernière province, chacune des autres provinces dure environ 2000 ans. Cette observation est importante parce qu'elle suggère que des changements dans la composition de la forêt de l'ouest du Québec sont survenus plus ou moins périodiquement tous les 2000 ans au cours de la période postglaciaire. La végétation actuelle s'est mise en place il y a environ 3500 ans et depuis, elle est relativement stable.

L'assemblage de la première province pollinique traduit bien l'immigration des espèces végétales après le retrait de l'inlandsis. Au début de la période postglaciaire, le pollen des herbes, mais également celui de *Pinus banksiana* et de *Picea mariana*, est abondant dans les assemblages. La végétation de l'époque n'était pas à proprement parler non

Tableau 5. Description des 6 provinces polliniques de l'ouest du Québec. Les couleurs en marge sont les mêmes que celles utilisées au tableau 4 et sur les figures 14, 15 et 16. Il faut lire les descriptions de bas en haut pour comprendre les changements évoqués.

Province pollinique	Âge (années AA)	Taxons clés	Description
Phase forestière (env. 7 500 ans AA à aujourd'hui)			
6 ^e	~ 3 500 à 0	<i>Picea</i> <i>Pinus banksiana</i> <i>Abies</i>	La 6 ^e province pollinique caractérise bien la signature pollinique de la végétation actuelle. Cette province est observée dans tous les diagrammes polliniques à l'étude. Son début est plus précoce dans le sud-est du territoire (SBj-Est, env. 4 500 ans AA) que dans le nord-ouest (PM-Ouest, env. 3 000 ans AA). Ce sont les grains de pollen de <i>Picea</i> , de <i>Pinus banksiana</i> et d' <i>Abies</i> qui caractérisent le mieux la 6 ^e et dernière province pollinique. Dans l'ensemble, les taxons boréaux sont de plus en plus abondants dans les assemblages polliniques.
5 ^e	~ 5 500 à 3 500	<i>Betula</i>	La 5 ^e province pollinique est marquée par la dominance du pollen de <i>Betula</i> dans les assemblages. Son début et sa fin sont plus tardifs à travers les sites de la Grande Ceinture d'Argile, soit dans le secteur Ouest de la PM et de la SBb. Dans l'ensemble, cette province s'étend sur environ 2 000 ans. Contrairement aux provinces précédentes (avant 5 500 ans AA), l'abondance des taxons dans les assemblages est plus uniforme entre les sites des secteurs Ouest et Est du territoire d'étude (de part et d'autre de la longitude 75° O).
4 ^e	~ 6 500 à 5 500	<i>Thuja</i> <i>Pinus strobus</i>	La 4 ^e province pollinique est en continuité avec la précédente et s'étend sur plus ou moins 1 000 ans. Elle est exclusive aux sites du secteur Ouest de la PM et de la SBb, sur la Grande Ceinture d'Argile. À ces endroits, le pourcentage de <i>Thuja</i> augmente abruptement vers 6 500 ans AA puis diminue graduellement. Le pollen de <i>Pinus strobus</i> est toujours abondant. En comparaison, ailleurs à travers les autres sites, le pourcentage de <i>Thuja</i> n'excède jamais 2 %.
3 ^e	~ 7 500 à 5 500	<i>Pinus strobus</i>	La 3 ^e province pollinique marque le début de la phase forestière et la densification du couvert végétal. La signature pollinique de cette province est manifeste et relativement synchrone dans l'ensemble du territoire. Vers 7 500 ans AA, on observe une augmentation du pollen de <i>Pinus strobus</i> dans les diagrammes polliniques des sites de la PM, de la SBb et de la SBj. Les taxons thermophiles sont de plus en plus abondants dans les assemblages.
Phase d'afforestation (env. 9 500 à 7 500 ans AA)			
2 ^e	~ 9 500 à 7 500	<i>Betula</i> <i>Populus</i> <i>Abies</i> <i>Alnus crispa</i>	La 2 ^e province pollinique marque le début de la sédimentation organique et l'afforestation du territoire. Son début est asynchrone et sa chronologie est approximative. L'âge de sa fin est plus précis et plus synchrone, notamment pour les sites d'un même secteur. Dans le secteur Est de la PM, de la SBb et de la SBj, l'afforestation était probablement terminée vers 8 000 ans AA. Dans le secteur Ouest, celle-ci a pris fin plus tardivement, soit vers 7 500 ans AA. Ce sont les grains de pollen de <i>Betula</i> , de <i>Populus</i> , d' <i>Abies</i> et d' <i>Alnus crispa</i> qui caractérisent le mieux l'assemblage de la 2 ^e province pollinique. L'abondance des herbes et des grains de pollen d'apport lointain (<i>Quercus</i>) diminue dans les assemblages de l'époque de cette province.
Phase d'immigration des espèces végétales (avant env. 9 500 ans AA)			
1 ^{re}	avant ~ 9 500	<i>Pinus banksiana</i> <i>Picea</i> <i>Quercus</i> <i>Alnus crispa</i> herbes	Dans les séquences lacustres étudiées, le sédiment de l'époque de la 1 ^{re} province pollinique est inorganique, et son contenu en grains de pollen témoigne de l'immigration des espèces. La chronologie de cette province pollinique est très approximative. Son début est associé à l'âge de la déglaciation des sites, et sa fin est centrée pour l'ensemble du territoire à env. 9 500 ans AA. Le pourcentage du pollen herbacé est plus élevé dans les sédiments basaux des sites de la SBj, déglacés relativement tôt, que dans ceux des sites de la PM, déglacés plus tardivement. Les assemblages polliniques des sites ne couvrent pas tous la même époque, et ceci explique pourquoi ceux-ci sont hétérogènes à travers le territoire. Ce sont les grains de pollen de <i>Pinus banksiana</i> , de <i>Picea</i> , de <i>Quercus</i> , les herbes et le pollen d' <i>Alnus crispa</i> qui caractérisent le mieux l'assemblage de la 1 ^{re} et plus ancienne province pollinique. Les grains de pollen d'arbres à feuilles caduques sont abondants dans les assemblages, et ils proviennent de populations lointaines.

arboréenne, telle que décrite par Richard (1977). Dans les diagrammes polliniques des sites, le pollen des plantes arctiques alpines, par exemple celui d'*Oxyria digyna*, des Saxifragaceae et de *Dryas*, a très rarement été relevé (annexe 5). L'assemblage de la 2^e province pollinique reflète bien l'afforestation du territoire et la densification du couvert végétal. La 3^e province pollinique, riche en pollen de *Pinus strobus*, marque le début (ou la première période) de la phase forestière. La 4^e province pollinique, observée uniquement parmi les sites de la Grande Ceinture d'Argile, désigne une autre période de la phase forestière dans les secteurs Ouest de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc. La 5^e province, dominée par le pollen de *Betula*, caractérise la période suivante. La densité du couvert forestier était maximale au cours de cette période. Finalement, la 6^e province pollinique marque bien la période actuelle, c.-à-d. la « boréalisation » de la forêt de l'ouest du Québec.

Dans cette section, nous décrivons l'histoire postglaciaire de la végétation de l'ouest du Québec selon 3 grandes phases successives : la phase d'immigration des espèces végétales, la phase d'afforestation et la phase forestière (figure 18). Cette dernière est subdivisée en 4 périodes pour les sites de la Grande Ceinture d'Argile (secteurs PM-O et SBb-O), et en 3 périodes pour les autres sites.

4.3.2.1 Phase d'immigration des espèces végétales (avant env. 9500 ans AA)

Le sédiment de cette époque est inorganique. L'immigration des plantes est en lien avec l'âge de la déglaciation des sites, et sa fin est centrée pour l'ensemble du territoire vers 9500 ans AA (figure 18).

La « **province pollinique à *Pinus banksiana* – *Picea* – *Quercus* – *Alnus crispa* – herbes** », la plus ancienne, caractérise le début de la période postglaciaire (tableau 5). À cette époque, un grand lac proglaciaire (le lac Ojibway) occupait les secteurs Ouest de la PM et de la SBb et l'inlandsis était toujours présent dans les environs des sites de la PL. L'assemblage pollinique de cette époque traduit bien l'immigration des espèces après le retrait de l'inlandsis. Le couvert végétal était alors très clairsemé. Dans l'ouest du Québec, le couvert végétal du début de la période postglaciaire était clairsemé, mais n'était pas à proprement parler dépourvu d'arbres. La quantité de grains de pollen d'arbres à feuilles caduques, comme les chênes, est importante dans les assemblages. Les grains de pollen de *Quercus* observés proviennent sans doute principalement de populations lointaines. Cependant, puisque le pourcentage de *Quercus* est maximal dans les sites de la SBj et qu'il décroît dans les sites

plus au nord, on peut penser que des populations isolées de chênes étaient présentes au sud-ouest du territoire d'étude il y a env. 9500 ans AA. En effet, leurs influx polliniques (ou TAP) sont égaux ou supérieurs aux valeurs modernes dans les sites où les populations existent de nos jours (Richard *et al.* 1989). Plus au sud, à proximité des sites de la SBj, les herbes et les arbustes comme les aulnes crispés étaient abondants au départ. Les peupliers faux-trembles et les genévriers se sont par la suite implantés. Des populations éparses de pins gris et d'épinettes noires croissaient sans doute dans les environs. Les pins gris dominaient dans le secteur Ouest du territoire, alors que les épinettes noires prévalaient dans le secteur Est. Vers 9500 ans AA, une végétation très clairsemée, mais aux assemblages polliniques déjà comparables à ceux de la pessière à mousses ou de la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb), occupait sans doute le territoire couvert par la SBj moderne (lat. 47° N.). Au même moment, dans le secteur Nord du territoire (lat. 49° N.), plus particulièrement en marge du grand lac proglaciaire Ojibway et de l'inlandsis, on trouve une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens (TF/PL, figure 18).

4.3.2.2 Phase d'afforestation (d'env. 9500 à 7500 ans AA)

La phase d'afforestation est marquée par le début de la sédimentation organique, asynchrone à travers le territoire, et à la chronologie approximative (voir la chronologie des ZAP 2 à la section 4.3.1). L'âge de sa fin est toutefois plus précis et synchrone, notamment pour les sites d'un même secteur. Dans les secteurs Est de la PM, de la SBb et de la SBj, l'afforestation du territoire était probablement terminée vers 8000 ans AA. Dans le secteur Ouest, elle a pris fin plus tardivement, vers 7500 ans AA. Ce délai de 500 ans entre le début de la phase forestière dans les secteurs Est et Ouest peut s'expliquer par la présence du lac proglaciaire Ojibway dans le secteur Ouest. Sa vidange dans la baie d'Hudson est datée vers 8470 ans AA (Barber *et al.* 1999).

La « **province pollinique à *Betula* – *Populus* – *Abies* – *Alnus crispa*** » témoigne de l'afforestation de l'ouest du Québec et de la densification du couvert végétal (tableau 5). L'abondance des herbes et des grains de pollen d'apports lointains (*Quercus*) diminue dans les assemblages. Les épinettes noires et les sapins étaient sans doute de plus en plus abondants dans les paysages, malgré une représentation de plus en plus rare causée par le pollen surabondant des bouleaux (blancs). À cette époque, l'abondance des sapins dans la végétation était sans doute comparable à celle d'aujourd'hui (voir la courbe du TAP d'*Abies*, figure 13). Dans le

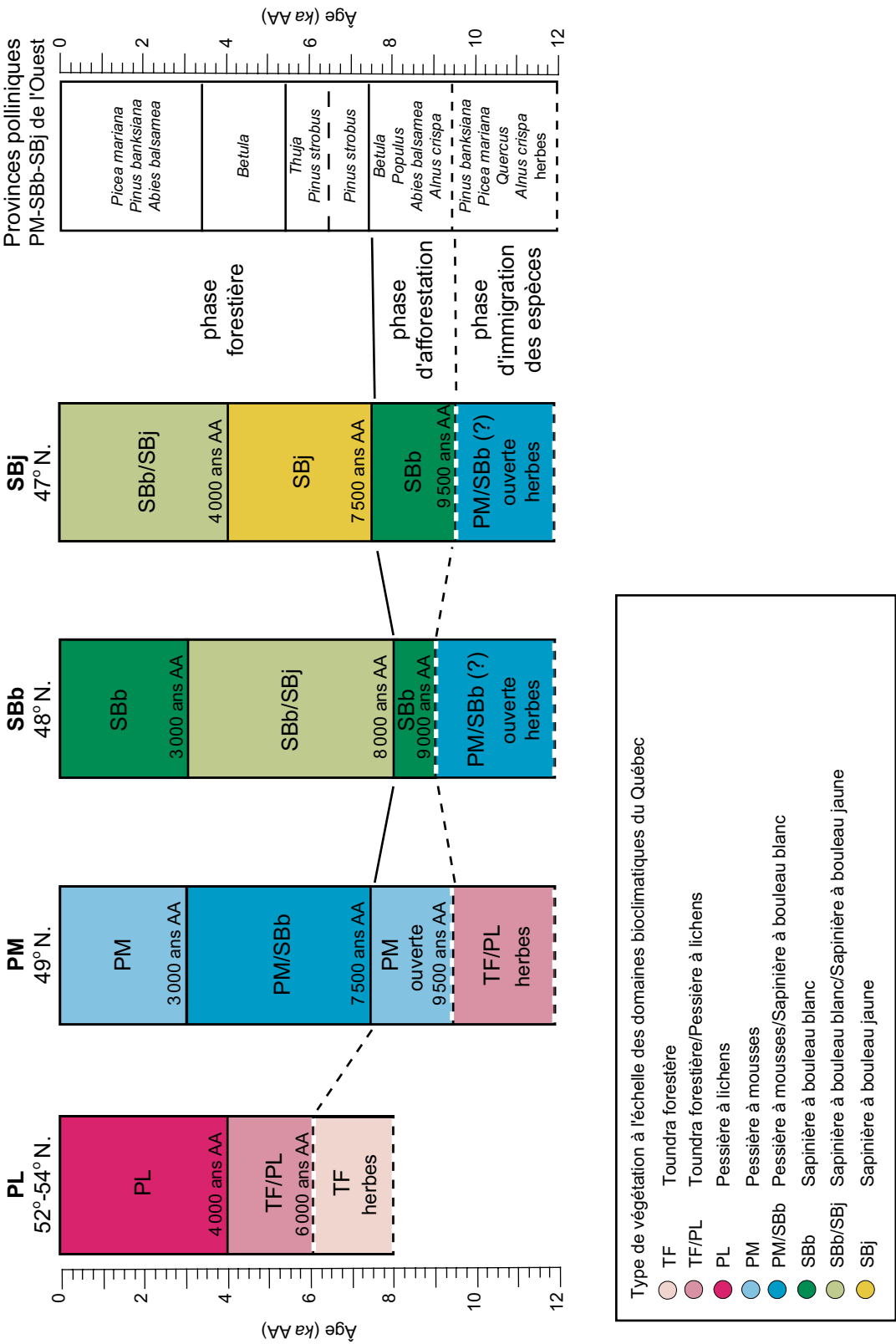


Figure 18. Sommaire de la reconstitution de la végétation postglaciaire à l'échelle du domaine de la pessière à lichens (PL) dans l'ouest du Québec et des 3 sous-domaines bioclimatiques (PM, SBb, SBj) de l'Ouest. Les 3 grandes phases de l'histoire de la végétation et la chronologie des provinces polliniques postglaciaires sont indiquées à droite. La chronologie de la phase d'immigration des espèces végétales est approximative, car elle a peu ou pas de contrôle chronologique (dates radiocarbones).

secteur Ouest de la PM actuelle (lat. 49° N.), notamment en Ontario, les pins gris étaient plus abondants que précédemment, alors que plus au sud, dans les environs des sites de la SBb et de la SBj (lat. 47°-48° N.), des mélèzes étaient présents. Comme pour la province précédente, le cortège floristique de la végétation du secteur Ouest était différent de celui du secteur Est. Cela s'applique tout particulièrement aux environs des sites de la PM et de la SBb. Les peupliers faux-trembles abondaient dans le secteur Ouest, alors que les aulnes crispés colonisaient les sols du secteur Est. Les aulnes crispés étaient tout particulièrement abondants dans les environs des sites de la SBj. En Gaspésie, la recrudescence du pollen d'*Alnus crispa* observée dans les sédiments de cette époque est interprétée comme un épisode de refroidissement du climat (Marcoux et Richard 1995). Anderson *et al.* (2007) ont étendu cette interprétation à l'ensemble des régions bordant le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent : ils proposent que les eaux froides déversées dans le Saint-Laurent par les diverses phases de vidange du lac glaciaire Agassiz en soient la cause. Pour les sites de la SBj du territoire d'étude, notamment ceux du secteur Est, l'arrivée des sapins succède à celle des aulnes crispés. Vers 8000 ans AA, une végétation de sapinière à bouleau blanc (SBb) occupait les sols des sites des domaines de la SBb et de la SBj (lat. 47°-48° N.). À la même époque, une végétation de pessière à mousses (PM) ouverte colonisait les sols du nord du territoire (lat. 49° N.) (figure 18).

4.3.2.3 Phase forestière (d'env. 7500 ans AA à aujourd'hui)

Pour l'ensemble du territoire d'étude, le début de la phase forestière à proprement dit est centré sur 7500 ans AA (figure 18). Cette phase comprend trois provinces caractérisées par (1) une grande diversité des taxons forestiers à travers le territoire jusque vers 5500 ans AA, (2) une diminution de la diversité des assemblages jusque vers 3500 ans AA causée par la surreprésentation pollinique du pin blanc ou du bouleau et par la densification du couvert forestier, puis (3) une recrudescence de l'épinette noire, du pin gris et des sapins. Ces trois provinces témoignent chacune d'une période de la phase forestière. Elles sont décrites ci-dessous.

La « **province pollinique à *Pinus strobus*** » (env. 7500-5500 ans AA) marque le début de la phase forestière des sites des domaines de la PM, de la SBb et de la SBj (tableau 5). Vers 7500 ans AA, l'augmentation du pollen de *Pinus strobus* dans l'assemblage pollinique des sites est manifeste et relativement synchrone dans l'ensemble du territoire. L'assemblage pollinique de cette province suggère une végétation plus thermophile que

l'actuelle. À cette époque, vers 6500 ans AA, la diversité des végétations et des espèces forestières sur le territoire était également plus grande qu'actuellement. À l'extrême nord du territoire (lat. 52°-54° N.), une végétation de toundra forestière (TF) colonisait les sols des environs des sites du domaine de la PL (figure 18). Les épinettes noires étaient rares dans la région, et les herbes et les arbustes, plus abondants qu'aujourd'hui. Dans les sites du domaine de la PM, les épinettes noires sont de plus en plus abondantes dans la végétation, au détriment des pins gris, des bouleaux, des aulnes crispés et des peupliers faux-trembles. Une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) colonisait sans doute les environs des sites du domaine de la PM (lat. 49° N.). Plus au sud, dans les environs des sites des domaines de la SBb et de la SBj, il y a une diminution graduelle des espèces boréales comme l'épinette noire, le pin gris et le sapin, au profit d'espèces plus thermophiles, comme le pin blanc. Les populations de peupliers faux-trembles déclinent également à cette époque. En considérant que le bouleau jaune est fréquemment associé au pin blanc dans la végétation de la forêt mixte québécoise, on peut penser qu'une partie des populations de bouleaux blancs de l'époque précédente aurait été remplacée par des populations de bouleaux jaunes vers 7000-6000 ans AA. À cette époque, une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) croissait sans doute dans les environs des sites du domaine de la SBb (lat. 48° N.). Plus au sud (lat. 47° N.), une végétation de sapinière à bouleau jaune (SBj) était constituée (figure 18).

La « **province pollinique à *Thuja — Pinus strobus*** » (env. 6500-5500 ans AA) est en continuité avec la précédente et s'étend sur plus ou moins 1000 ans (tableau 5). Cette province est restreinte aux sites sur la Grande Ceinture d'Argile, c'est-à-dire dans le secteur Ouest des domaines de la PM (lat. 49° N.) et de la SBb (lat. 48° N.) (figure 16). L'abondance du thuya dans le secteur Ouest uniquement peut s'expliquer par les caractéristiques des sols locaux (riches en carbonates) et le climat de l'époque (p. ex. Genries *et al.* 2012, Liu 1982, 1990). À cette époque, les épinettes noires abondaient de plus en plus dans le centre-nord du territoire d'étude (sites CH2 et LG412), et les bouleaux dominaient toujours la végétation plus au sud. Des populations isolées de pins blancs étaient toujours présentes dans les environs des sites du domaine de la SBj (lat. 47° N.). La végétation occupant la Grande Ceinture d'Argile entre env. 6500-5500 ans AA était comparable à celle de l'époque précédente. Une végétation de transition

entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) colonisait le nord (sites du secteur Ouest de la PM : lat. 49° N.), alors qu'une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) s'était déployée plus au sud (sites du secteur Ouest de la SBb : lat. 48° N., figure 18).

La « **province pollinique à *Betula*** » (env. 5500-3500 ans AA) marque la seconde période de la phase forestière. Son début et sa fin sont plus tardifs dans les sites de la Grande Ceinture d'Argile. Dans l'ensemble, cette province s'étend sur environ 2000 ans. Comparativement à celui de la province précédente, le cortège des espèces forestières était plus uniforme entre le secteur Ouest et le secteur Est du territoire. À cette époque, les épinettes noires et les bouleaux abondaient dans le secteur Nord. Dans le secteur des sites du domaine de la PL (lat. 52°-54° N.), la végétation est alors plus dense que précédemment et se rapproche d'une pessière à lichens. Une végétation dense de pessière à mousses colonisait probablement les environs des sites du domaine de la PM (lat. 49° N.). Il est également possible qu'une végétation comparable à celle de la période précédente (PM/SBb) ait été présente dans la région, mais à cette époque (env. 4500 ans AA), la part de pessière à mousses prévalait sur celle de la sapinière à bouleau blanc. Dans le sud du territoire, les bouleaux dominaient également la végétation de cette époque. À cet endroit, on assiste également au déclin des populations de thuyas et de pins blancs au profit des épinettes noires. La végétation dans les environs des sites des domaines de la SBb et de la SBj était comparable à celle de l'époque précédente. Une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) était présente à proximité des sites du domaine de la SBb (lat. 48° N.) et une végétation de sapinière à bouleau jaune (SBj) prévalait dans les environs des sites du domaine de la SBj (lat. 47° N.) (figure 18).

La « **province pollinique à *Picea* — *Pinus banksiana* — *Abies*** » (env. 3500 ans AA à aujourd'hui) correspond bien à la signature pollinique de la végétation actuelle. Elle est observée dans le diagramme pollinique des sites du domaine de la PL. Pour les sites des domaines de la PM et de la SBb, elle englobe deux ZAP (figure 16). Son début est plus précoce dans le sud-est du territoire (SBj-est, env. 4500 ans AA) que dans le nord-ouest (PM-ouest, env. 3000 ans AA). Pour l'ensemble du territoire d'étude, le début de cette province est centré vers 3500 ans AA (figure 18). Elle marque l'installation des pessières (PL et PM) et des sapinières (SBb et SBj) présentes aujourd'hui dans l'ouest du Québec. Le TAP des sédiments suggère

une ouverture du couvert forestier de la pessière (sites des domaines de la PL et la PM) à cette époque et une relative stabilité de la densité de la sapinière (sites des domaines de la SBb et de la SBj, figure 13). La recrudescence des feux de forêt, il y a env. 3000 ans AA, dans le nord de la forêt boréale (taïga) (cf. Bremond et al. 2010), pourrait expliquer l'ouverture du couvert forestier notée parmi les sites de la pessière (Payette 1992). Dans le nord du territoire, les épinettes noires et les pins gris dominent la végétation. Les pins gris sont notablement plus abondants depuis env. 2500 ans AA. Les mélèzes et les sapins sont présents. Une végétation de pessière à lichens (PL) et de pessière à mousses (PM) occupe les sols du territoire des sites des domaines de la PL (lat. 52°-54° N.) et de la PM (lat. 49° N.) (figure 18). Dans le sud, les bouleaux sont toujours abondants. Les populations de pins blancs sont de plus en plus rares au profit des épinettes noires, des pins gris et des sapins. Une végétation de sapinière à bouleau blanc (SBb) occupe les sols du territoire des sites du domaine de la SBb (lat. 48° N.) et une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) est présente à proximité des sites du domaine de la SBj (lat. 47° N.) (figure 18). L'abondance d'épinettes noires (10 % de pollen de *Picea*) sur le territoire est trop grande pour conclure à une végétation de sapinière à bouleau jaune uniquement. Le déclin des populations de pins blancs à cette époque suggère une recrudescence possible des populations de bouleaux blancs dans la végétation du sud du territoire. Les populations de bouleaux jaunes étaient sans doute prévalentes auparavant, notamment vers 5500 ans AA.

4.4 Dynamique spatiotemporelle millénaire du climat et de la végétation de l'ouest du Québec

Dans cette section, nous résumons les données polliniques et climatiques des 26 sites par tranche de 1000 ans de sédiments. La reconstitution du climat est d'abord livrée à l'échelle du millénaire pour l'ensemble de l'ouest du Québec, puis à l'échelle du millénaire pour les régions de la Jamésie, de l'Abitibi et de la Sagamie (section 4.4.1). La reconstitution de la végétation à l'échelle du millénaire est livrée pour l'ensemble des 26 sites de l'ouest du Québec. Finalement, ces résultats complètent les résultats postglaciaires des 8 secteurs et permettent de préciser l'histoire spatiotemporelle de la végétation de l'ouest du Québec depuis la déglaciation, mais cette fois-ci en lien avec le climat (section 4.4.2).

Il y a un danger de raisonnement circulaire à confronter la reconstitution de la végétation basée sur les assemblages polliniques avec la reconstitution du climat, elle-même fondée sur ces mêmes assemblages polliniques. La technique des analogues

modernes basée sur les assemblages polliniques est toutefois une méthodologie répandue, qui correspond assez bien aux résultats livrés par d'autres méthodes de reconstitution climatique (chironomides, diatomées, etc.). Pour la discussion de la végétation millénaire en lien avec le climat de l'époque présentée à la section 4.4.2, cette possibilité d'un raisonnement circulaire n'est que partiellement fondée. En effet, le climat millénaire discuté est une moyenne basée sur l'ensemble des sites de l'ouest du Québec, alors que la végétation millénaire a été reconstituée à tous les sites individuellement. Par ailleurs, les assemblages polliniques millénaires des sites sur lesquels est basé le climat millénaire de l'ouest du Québec sont différents (voir la figure 21). Ils sont issus des différentes végétations présentes dans l'ouest du Québec à un millénaire donné. Nous croyons que cette façon de faire minimise les problèmes de circularité du raisonnement évoqués plus haut.

4.4.1 Évolution du climat millénaire de l'ouest du Québec

4.4.1.1 Climat millénaire de l'ensemble de l'ouest du Québec

L'histoire du climat millénaire pour l'ensemble du territoire d'étude est livrée à la figure 19, avec le TAP des sites par millénaire. Le TAP moyen des sites augmente de 9000 à 4000 ans AA, période où il atteint son maximum, puis diminue. Ces variations suggèrent une densification progressive de la couverture végétale du territoire d'étude jusque vers env. 4000 ans AA, suivie d'une légère ouverture (voir également la section 4.2.3 et la figure 13).

Le résultat de la reconstitution du climat post-glaciaire des 26 sites montre qu'il y a un refroidissement graduel de la température estivale (MTWA) et hivernale (MTCO) depuis env. 9000 ans AA sur l'ensemble du territoire d'étude. Ce refroidissement est de l'ordre de 1 °C pour la MTWA et de 2 °C pour la MTCO. Il peut s'expliquer par la diminution continue de l'intensité du rayonnement solaire incident (insolation) depuis 11000 ans AA, sous nos latitudes. Dans l'hémisphère Nord, à 60° de latitude N., l'insolation du mois de juin était d'env. 520 W·m⁻² il y a 11000 ans AA, alors qu'elle est inférieure à 480 W·m⁻² aujourd'hui (Berger et Loutre 1991).

Les résultats montrent également une augmentation des précipitations annuelles (PANN) de l'ordre de 150 mm·an⁻¹ et une diminution de l'ensoleillement estival (SJJA) de l'ordre de 3 % depuis 9000 ans AA. Une différence de l'ordre de 0,5 mm·jour⁻¹ (env. 180 mm·an⁻¹) entre 7000 ans AA et aujourd'hui a dernièrement été reconstituée par modélisation pour le sous-domaine de la pessière à mousses de l'Ouest (Ali *et al.* 2012). Les travaux de Ali *et al.* (2012), et plus récemment ceux de Oris *et al.* (2014), ont également montré une baisse de la température estivale (juin, juillet, août) d'environ 1 °C pour la même période. La chute abrupte de SJJA observée vers 7000 ans AA pourrait s'expliquer par la fonte de la calotte glaciaire laurentidienne (Dyke 2005) et la disparition des vents catabatiques en provenance de celle-ci. Le résultat de la reconstitution de l'ensoleillement (SJJA) suggère que les grands vents d'ouest étaient sans doute plus forts au cours des premiers millénaires suivant la déglaciation qu'ils ne le sont aujourd'hui. La prévalence d'un climat chaud et sec sur le territoire d'étude, notamment avant 7000 ans AA, pourrait expliquer la fréquence élevée des incendies à cette époque (Carcaillet et Richard 2000).

Un changement climatique majeur est noté vers 5000 ans AA. Dans l'ouest du Québec, il y a plus de 5000 ans, les précipitations annuelles étaient moins abondantes qu'actuellement, et le nombre d'heures d'ensoleillement était plus important. Les résultats de la reconstitution montrent que le climat de la période antérieure à 5000 ans AA était relativement chaud et sec, et que le ciel était plus clair qu'actuellement. À l'opposé, depuis env. 5000 ans AA, le climat de la région est plus frais et plus humide, et la couverture nuageuse est plus importante que précédemment. Pour l'instant, la cause de ce changement climatique observé dans l'ouest du Québec vers 5000 ans AA est difficile à cerner, mais les tendances opposées observées sur la courbe de SJJA et celle des PANN laissent penser que le phénomène est associé à un changement de circulation atmosphérique.

4.4.1.2 Climat millénaire de la Jamésie, de l'Abitibi et de la Sagamie

L'histoire à pas millénaire du climat est présentée à la figure 20 pour la Jamésie, l'Abitibi et la Sagamie. La Jamésie inclut les sites du domaine de la pessière à lichens⁹. L'Abitibi inclut les sites des

⁹ Le groupe de la Jamésie n'inclut que 3 sites. Dans une première version de ce mémoire, le site LG412 était inclus. À ce moment, le climat millénaire du groupe, plus particulièrement la MTCO, était grandement biaisé par celui du site LG412. Les faibles pourcentages d'*Alnus crispa* observés au site LG412 d'env. 6000 à 4000 ans AA ont été transcrits dans la courbe de la MTCO par un réchauffement d'env. 3 °C. Cette chute du pourcentage d'*Alnus crispa* au site LG412 n'est pas présente aux autres sites à proximité (p. ex. LG406P) (figure 14a). Par ailleurs, le TAP du site LG412 est très comparable à celui du site CH2, dans le secteur Ouest de la pessière à mousses (figure 13). En conséquence, nous avons jugé préférable d'exclure le site LG412 du groupe de la Jamésie pour le calcul du climat millénaire. Toutefois, la courbe du climat millénaire du groupe de la Jamésie incluant le site LG412 est disponible auprès des auteurs et peut être transmise sur demande pour comparaison.

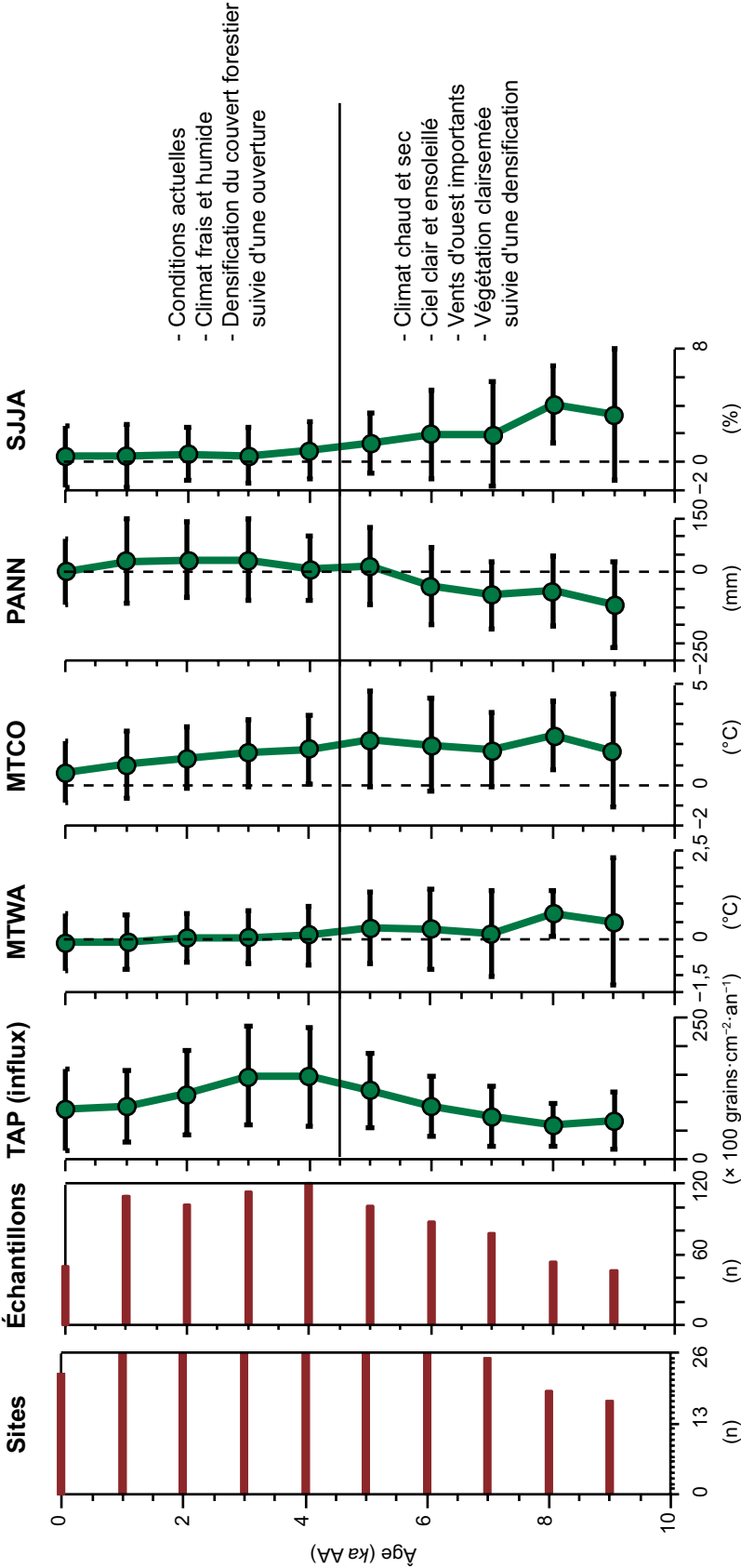


Figure 19. Évolution du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaire de l'ouest du Québec calculés sur la base des données des 26 sites. Les moyennes millénaires du climat sont exprimées en anomalie par rapport à l'actuel. Les reconstitutions climatiques des 26 sites sont présentées au supplément 3 (disponible sur demande). De gauche à droite : nombre de sites et d'échantillons utilisés pour le calcul des moyennes millénaires, TAP moyen des sédiments, température moyenne du mois le plus chaud (MTWA), température moyenne du mois le plus froid (MTCO), précipitations annuelles totales (PANN) et ensoleillement estival (juin, juillet et août : SJJA). Les barres d'erreur représentent l'écart-type.

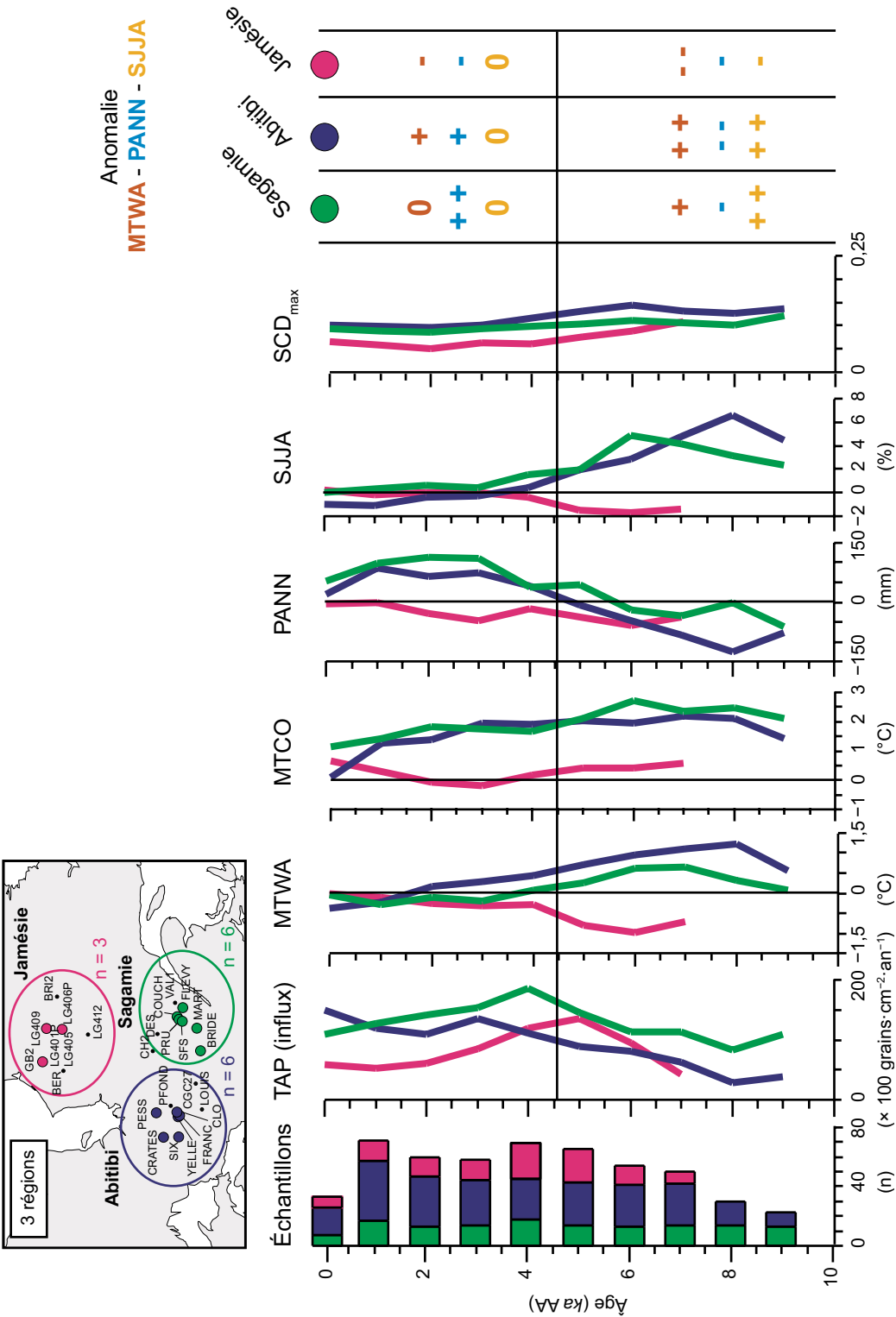


Figure 20. Variabilité régionale du climat et du taux d'accumulation pollinique (TAP) millénaire de l'ouest du Québec pour la Jamésie (en vert; principalement le secteur Nord de la PL), l'Abitibi (en bleu foncé; principalement le secteur Ouest de la SBB) et la Sagamie (en rose; principalement le secteur Est de la SBB). Les moyennes millénaires du climat sont exprimées en tant qu'anomalies par rapport au climat actuel. De gauche à droite : nombre d'échantillons utilisés pour le calcul des moyennes millénaires des 3 régions, TAP moyen des sédiments, température moyenne du mois le plus chaud (MTWA), température moyenne du mois le plus froid (MTCO), précipitations annuelles totales (PANN), ensoleillement estival (SJJA) et dissimilarité maximale (SCD_{max}), c.-à-d. celle entre le 5^e analogue moderne retenu pour la reconstitution climatique et l'assemblage pollinique des sites. Cette valeur nous renseigne sur la fiabilité des reconstitutions climatiques. Le seuil d'acceptabilité pour la sélection d'un analogue a été fixé à 0,29. Les analogues retenus pour les reconstitutions climatiques ont, dans l'ensemble, une dissimilarité < 0,15 avec les assemblages polliniques postglaciaires des sites.

secteurs Ouest des sous-domaines occidentaux de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc du Québec, tous sur la Grande Ceinture d'Argile. La Sagamie inclut les sites des secteurs Est des sous-domaines occidentaux de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune du Québec. Le TAP du sédiment des sites des 3 régions y est aussi résumé par millénaire.

La tendance de la courbe du TAP millénaire des 3 régions (figure 20) est différente de celle de la courbe du TAP millénaire de l'ensemble du territoire d'étude (figure 19). En Abitibi, le TAP augmente continuellement depuis 9000 ans AA, alors qu'en Jamésie et en Sagamie, il augmente, puis diminue. Comme pour le TAP de l'ensemble du territoire (figure 19), le TAP de la Jamésie et de la Sagamie est toutefois plus stable que celui de la Jamésie. La pente de la courbe est moins prononcée. En Jamésie, le déclin du TAP est particulièrement prononcé après env. 2500 ans AA. Au cours de cette période, le TAP total du sédiment et le TAP de *Picea* et d'*Abies* augmentent en Abitibi (voir le site FRANC à la figure 13). En Abitibi, les résultats suggèrent une densification continue du couvert forestier depuis la déglaciation. À l'opposé, en Jamésie, les résultats indiquent une densification du couvert forestier, suivie d'une ouverture.

Les résultats révèlent un contraste climatique entre le nord (Jamésie) et le sud (Abitibi-Sagamie) du territoire d'étude, particulièrement marqué avant env. 5000 ans AA (figure 20). En Abitibi et en Sagamie, on observe un refroidissement continu de la température entre env. 8000 ans AA et aujourd'hui. Le refroidissement de la température estivale (MTWA) est plus prononcé en Abitibi, soit dans l'ouest du territoire (anomalie de la MTWA : 1,5 °C en Abitibi et d'env. 1,0 °C en Sagamie). Pour l'ensemble du territoire d'étude, la température estivale est relativement stable depuis env. 5000 ans AA (anomalie de la MTWA : env. 0,5 °C). En Abitibi et en Sagamie, le refroidissement de la MTCO depuis env. 8000 ans AA est semblable (env. 2,0 °C). À l'inverse, en Jamésie, les résultats montrent un réchauffement progressif de la température estivale depuis env. 6000 ans AA (anomalie de la MTWA : env. 1,0 °C), soit depuis la disparition de la calotte glaciaire au centre du Québec. La température hivernale est par contre demeurée relativement stable au cours de la même période. Les froides températures reconstituées avant env. 6000 ans AA en Jamésie, malgré la forte insolation estivale de l'époque, s'expliqueraient donc par la proximité de la calotte glaciaire.

Le contraste climatique observé entre les sites du domaine de la pessière à lichens (Jamésie) et ceux des régions plus au sud (Abitibi-Sagamie) est particulièrement bien illustré par les courbes de PANN et de SJJJA (figure 20). En Jamésie, les précipitations annuelles et l'ensoleillement estival augmentent légèrement depuis env. 6000 ans AA. Toutefois, les précipitations annuelles n'ont jamais excédé celles d'aujourd'hui. À l'opposé, en Abitibi et en Sagamie, on note une importante augmentation des précipitations annuelles depuis env. 8000 ans AA et jusqu'à aujourd'hui (anomalie des PANN : env. 150 mm·an⁻¹). Vers 5000 ans AA, les précipitations annuelles étaient comparables aux actuelles. Contrairement à la Jamésie, l'ensoleillement estival diminue continuellement depuis env. 8000 ans AA en Abitibi et en Sagamie. Par exemple, à 6000 ans AA, la nébulosité (l'inverse de l'ensoleillement) était plus importante qu'actuellement en Jamésie (anomalie du SJJJA : -1,5 %) et moindre en Abitibi et en Sagamie (anomalie du SJJJA : +4,0 %).

La similitude des anomalies climatiques millénaires de l'Abitibi et de la Sagamie est intéressante. En effet, en dépit du contraste palynostratigraphique observé entre les secteurs Ouest (Abitibi) et Est (Sagamie) du territoire (figure 16), le climat reconstitué est comparable. Cela confirme que le résultat du climat millénaire de l'ensemble du territoire d'étude (figure 19) n'est pas biaisé par le climat d'une région en particulier, et qu'il reflète sans doute fidèlement le climat millénaire de l'ouest du Québec depuis env. 9000 ans AA.

Le contraste climatique observé entre la Jamésie (domaine de la PL) et l'Abitibi et la Sagamie (domaines de la PM, de la SBb et de la SBj) pourrait naturellement s'expliquer par la circulation atmosphérique. Au Québec, depuis env. 6000 ans AA, la fréquence des feux de forêt et les émissions de carbone (CO₂) dans l'atmosphère sont plus importantes dans la taïga (pessière à lichens) que dans la forêt boréale (domaine de la pessière à mousses) et la forêt mixte (domaines des sapinières) (Bremond et al. 2010). Dans la forêt boréale et la forêt mixte, la fréquence des incendies était maximale avant env. 7500 ans AA (p. ex. Carcaillet et Richard 2000). Nos résultats ont montré qu'à l'échelle des millénaires successifs, le climat de la Jamésie se réchauffe et son ensoleillement augmente (figure 20). À l'opposé, le climat de l'Abitibi et de la Sagamie se refroidit et l'ensoleillement diminue. Par ailleurs, d'env. 5000 à 1000 ans AA, on observe une anomalie positive des PANN en Abitibi et en Sagamie (de +50 à +100 mm·an⁻¹) et une anomalie négative en Jamésie (-25 à -50 mm·an⁻¹). Le climat

au cours de cette période était donc plus sec qu'aujourd'hui dans le nord du territoire, alors qu'il était plus humide dans le sud. Bremond *et al.* (2010) expliquent le contraste observé dans la fréquence des feux, entre la taïga, d'une part, et la forêt boréale et la forêt mixte, d'autre part, par l'influence de masses d'air différentes au-dessus des deux régions et par la dynamique de la végétation. Nos résultats, notamment les courbes des PANN et du SJJA, appuient cette interprétation.

4.4.2 Répartition de la végétation millénaire dans l'ouest du Québec et son lien avec le climat

Dans cette section, nous allons examiner la répartition de la végétation sur le territoire d'étude à 8 000, 6 000, 4 000, 2 000 ans AA par rapport à celle d'aujourd'hui, et la mettre en lien avec le climat de l'époque. Chacun des millénaires choisis peut être associé à une province pollinique postglaciaire de l'ouest du Québec (figure 16). Ensemble, ils résument bien les différentes phases et périodes de l'histoire de la végétation postglaciaire du territoire d'étude discutées à la section 4.3.2. Leur espace-temps aux 2 000 ans se justifie par la durée moyenne des provinces polliniques postglaciaires.

Pour chaque millénaire, la végétation a été reconstituée pour chaque groupe de sites identifié à l'aide d'un dendrogramme (figure 21). À l'examen des diagrammes polliniques (figure 21), on note que le pourcentage millénaire des différents taxons est très uniforme entre les sites d'un même groupe. Les cartes de végétation (figure 22) montrent aussi que les différents groupes de sites sont très bien circonscrits dans l'espace. Ces deux observations montrent que (1) les assemblages polliniques millénaires des sites rapprochés sont comparables et (2) qu'ils proviennent fort probablement d'une même végétation. Cette ressemblance indique que l'incertitude liée aux modèles chronologiques que nous avons anticipée à la section 3.2.2 n'est peut-être pas justifiée. En effet, si l'estimation de l'âge des sédiments avait été erronée, les pourcentages millénaires des taxons auraient sans doute été moins uniformes, d'une part (et ce, même pour des sites rapprochés), et d'autre part, le résultat du groupement aurait probablement été différent, par exemple par le regroupement de sites éloignés les uns des autres sur le territoire. Finalement, l'assemblage pollinique millénaire des différents groupes reflète bien la répartition de la végétation sur le territoire à une époque donnée.

L'intensité (TSS) du dernier groupement (1^{er} ordre) des assemblages polliniques millénaires indique que la végétation des derniers millénaires et du début de la période postglaciaire était plus

homogène sur le territoire que celle qui existait entre env. 7 500 et 3 500 ans AA (figure 21). La TSS du dernier groupement de la période actuelle, c.-à-d. pour la période 0 an AA, a une valeur d'environ 3. Une valeur comparable est observée à 8 000 ans AA. L'existence d'une végétation relativement uniforme après env. 3 500 ans AA et avant env. 7 500 ans AA a été soulignée lors de la description des ZAP et des provinces polliniques (voir la section 4.3). La valeur de la TSS de la dernière fusion est d'environ 3 à 1 000 ans AA et d'environ 4 à 2 000 et à 3 000 ans AA. Elle atteint un maximum d'env. 5 à 4 000 et à 6 000 ans AA (figure 21). La végétation qui existait sur le territoire d'étude entre 7 000 et 4 000 ans AA était donc sans doute plus diversifiée que celle d'aujourd'hui. La TSS de la dernière fusion est d'environ 5 à 5 000 et à 7 000 ans AA. Le climat d'il y a 7 000 à 4 000 ans AA était différent de l'actuel (figure 19), et un plus grand contraste existait entre le nord (Jamésie : lat. 52°-54° N.) et le sud (Abitibi et Sagamie : lat. 47°-49° N.) du territoire d'étude (figure 20).

À l'examen des cartes de la végétation millénaire (figure 22), on note que la répartition latitudinale de la végétation comme on l'observe aujourd'hui s'est mise en place il y a environ 4 000 ans. Les cartes millénaires montrent également que plus on recule dans le temps, plus le gradient de la végétation était orienté d'ouest en est, et ce, tout particulièrement avant env. 7 000 ans AA. Ce gradient longitudinal de la végétation, au début de la période postglaciaire, pourrait s'expliquer par l'assèchement du territoire après la fonte de la calotte glaciaire en constante régression vers l'est (Williams *et al.* 2010).

Sur les cartes de la végétation millénaire, la position du dernier groupement correspond à l'isoline d'env. 1 000 degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5) (figure 22, ligne rouge). Sur le plan bioclimatique, la forêt boréale se distingue de la forêt mixte par un GDD5 < 1 200 degrés-jours, entre autres (Prentice *et al.* 1992). Nous avons vu à l'étude de la base de données modernes que l'assemblage pollinique des sites au nord du 50° parallèle, c.-à-d. ceux appartenant à la forêt boréale, est clairement différent de celui des sites plus au sud, appartenant à la forêt mixte (voir la section 4.1.1). Le résultat du groupement des assemblages polliniques millénaires des 26 sites est encourageant parce qu'il offre le potentiel d'étudier la migration spatiotemporelle de la frontière entre la forêt boréale et la forêt mixte dans l'ouest du Québec depuis la déglaciation.

4.4.2.1 Il y a 8 000 ans

Cette époque (8 000 ans AA) peut être associée à la province pollinique « *Betula* — *Populus*

— *Abies* — *Alnus crispa* » (env. 9500-7500 ans AA, figure 18). Dans l'ensemble, le territoire de la Jamésie (lat. 52-54° N. : sites du domaine de la PL) est toujours englacé. Seul le site BER possède un assemblage pollinique de cette tranche millénaire d'âge. Les sites de la Grande Ceinture d'Argile, auparavant inondés par les eaux du lac proglaciaire Ojibway, sont maintenant exondés. Cette époque correspond à la phase d'afforestation du sud du territoire (lat. 47-49° N. : sites des domaines de la PM, de la SBb et de la SBj). Le couvert forestier était clairsemé (TAP moyen env. 6000 grains·cm⁻²·an⁻¹). Le climat de l'époque était plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui, et la nébulosité était moins importante. Les anomalies climatiques suivantes ont été reconstituées : MTWA : +0,7 °C; MTCO : +2,5 °C; PANN : -55 mm·an⁻¹; SJJA : +4 % (figure 19). Cette époque marque le maximum thermique de la période postglaciaire dans l'ouest du Québec.

Le pollen de *Betula* et celui de *Pinus* (*Pinus banksiana*) dominent les assemblages à 8000 ans AA (figure 21). Le pollen de *Picea* est peu abondant. Celui de *Populus* abonde parmi les sites de la Grande Ceinture d'Argile. Le pollen d'*Alnus crispa* est abondant dans le nord-est du territoire. Ces sites sont plus proches de la calotte glaciaire en régression vers l'est.

Il y a 8000 ans AA, la composition et la répartition de la végétation sur le territoire d'étude étaient bien différentes de celles observées aujourd'hui (figure 22). Les pins gris et les peupliers faux-trembles abondaient dans l'ouest, et les bouleaux, les aulnes crispés et les sapins dominaient dans l'est. Dans l'ensemble, les épinettes noires étaient rares sur le territoire. La végétation de la pessière (PL et PM) comme on la connaît aujourd'hui n'existait pas à cette époque. Les gradients de la végétation étaient principalement orientés d'ouest en est.

Une végétation clairsemée de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune occupait les sols de l'ouest du territoire (figure 22). Cette végétation était riche en pins gris. Dans l'ouest, en Ontario (long. env. 81° O.), les épinettes noires étaient présentes. En Abitibi, plus à l'est (long. env. 79° O.), les peupliers faux-trembles étaient sans doute abondants. Dans l'est du territoire, une végétation clairsemée de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc colonisait les sols de la Sagamie. Cette végétation était riche en bouleaux. Les sapins étaient déjà présents, et ce, presque aussi abondamment à cette époque qu'aujourd'hui (voir le TAP d'*Abies* à la figure 13). Dans le nord du territoire, à proximité de la marge glaciaire, une végétation de toundra

arbusculaire ou de toundra forestière était présente. Les aulnes crispés et les bouleaux (arbusculifères) étaient présents.

4.4.2.2 Il y a 6000 ans

Cette époque (6000 ans AA) peut être associée aux provinces polliniques « *Pinus strobus* » (env. 7500-5500 ans AA) et « *Thuja* — *Pinus strobus* » (env. 6500-5500 ans AA) (figure 16). Le territoire de la Jamésie est maintenant déglacé. Cette époque marque les premiers millénaires de la phase forestière. Le couvert forestier du territoire se densifie (TAP moyen env. 9500 grains·cm⁻²·an⁻¹). Dans l'ensemble, le climat de l'époque était légèrement plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui, et le ciel était toujours plus clair et ensoleillé. Toutefois, les anomalies climatiques (MTWA : +0,3 °C; MTCO : +2,0 °C; PANN : -40 mm·an⁻¹; SJJA : +2 %, figure 19) sont plus petites qu'à 8000 ans AA. À cette époque, et comparativement à 8000 ans AA, le climat se rafraîchit graduellement, particulièrement en été, et les précipitations annuelles et la couverture nuageuse augmentent. Les vents d'ouest étaient sans doute plus intenses qu'actuellement.

À cette époque, un contraste climatique existait entre le nord (lat. 50°-54° N.) et le sud (lat. 47°-49° N.) du territoire (figure 20). Il est particulièrement manifeste dans les courbes de la température et de l'ensoleillement. En Jamésie, la température estivale était plus froide qu'actuellement (anomalie de la MTWA : -1,0 °C), et l'ensoleillement, moins important (anomalie du SJJA : -1,5 %). À l'opposé, en Abitibi et en Sagamie, la température estivale était plus chaude qu'aujourd'hui (anomalie de la MTWA : +0,7 °C) et l'ensoleillement plus important (anomalie du SJJA : +4 %). Il y a une légère différence (non significative) entre le climat de l'Abitibi et celui de la Sagamie. À 6000 ans AA, les précipitations annuelles étaient moins abondantes qu'actuellement, et ce, à travers tout le territoire d'étude (anomalie des PANN : -40 mm·an⁻¹).

Les assemblages polliniques de la période 6500-5500 ans AA varient davantage entre les sites du territoire qu'à 8000 ans AA (figure 21). L'assemblage des sites plus au nord est clairement différent de celui des sites plus au sud. Le pollen de *Betula*, celui de *Picea* et celui d'*Alnus crispa* y dominent. Ceux de *Pinus* (*strobus*), de *Betula* et de *Thuja* dominent les assemblages du sud. Une distinction pollinique existe aussi au sein des sites du nord. Le pollen d'*Alnus crispa* est abondant à l'extrême nord, et celui de *Pinus* (*banksiana*) est plus abondant au sud. Un contraste pollinique est aussi manifeste parmi les sites du sud. Le pollen de *Thuja* y est abondant dans l'ouest, parmi les sites de la

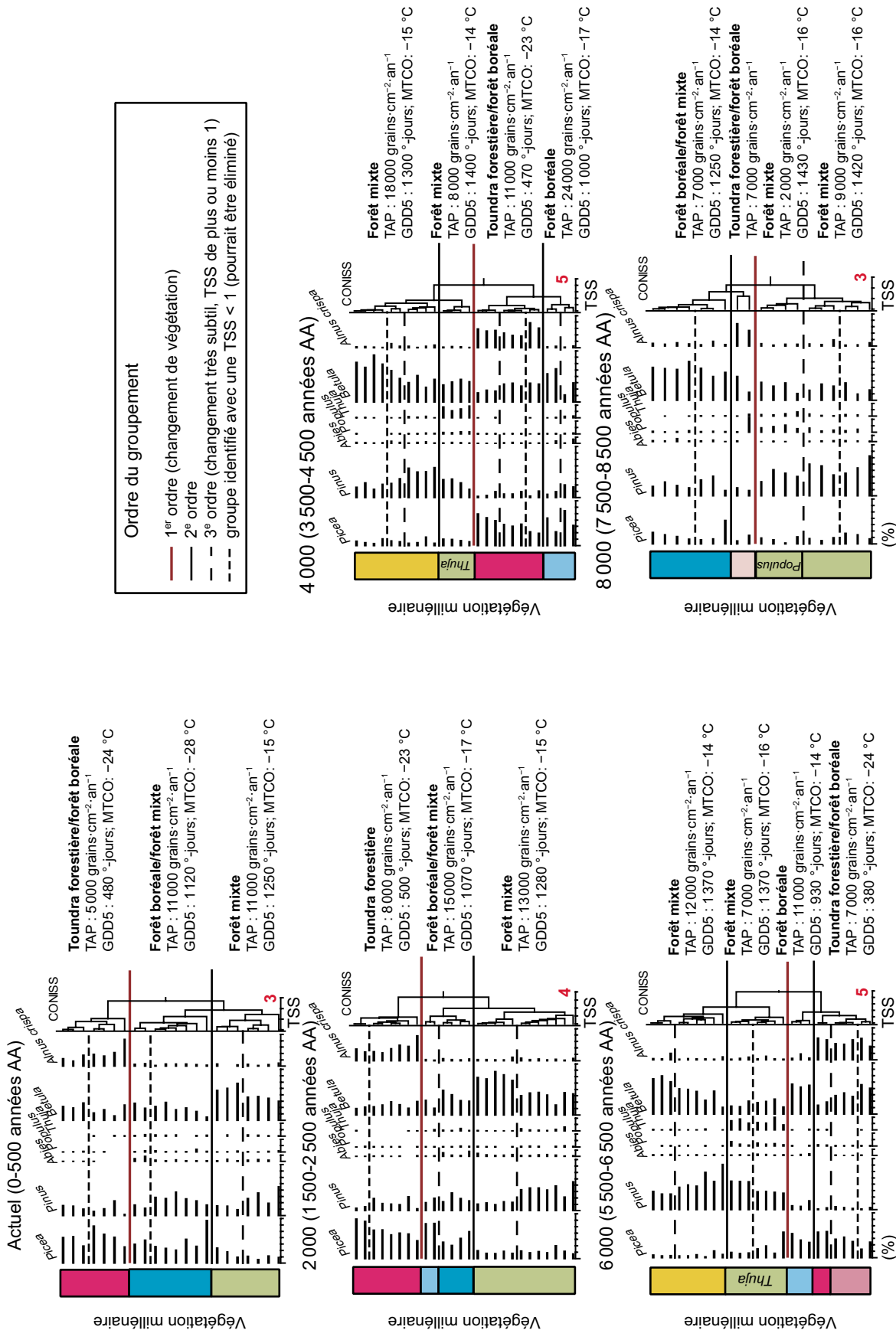


Figure 21. Diagrammes des assemblages polliniques millénaires des 26 sites de l'ouest du Québec à la période actuelle ainsi qu'à 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA. La légende des couleurs des types de végétation (histogramme superposé à gauche des diagrammes) est donnée à la figure 22. À noter que l'ordre des sites varie d'un diagramme à l'autre. Les dendrogrammes de groupement CONISS sont donnés à droite de chaque diagramme. La position du dernier groupement (1^{er} ordre) est illustrée par un trait gras et rouge. La valeur de la somme des carrés des écarts à la moyenne (TSS, valeur sans unité) du dernier groupement est donnée en caractère gras et rouge à la base du graphe. Cette valeur nous renseigne sur l'homogénéité des groupes. Les biomes nommés à la droite des diagrammes sont basés sur les valeurs moyennes du nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5) et de la température moyenne du mois le plus froid (MTCO) des groupes. Le taux d'accumulation pollinique (TAP) moyen des groupes est également donné.

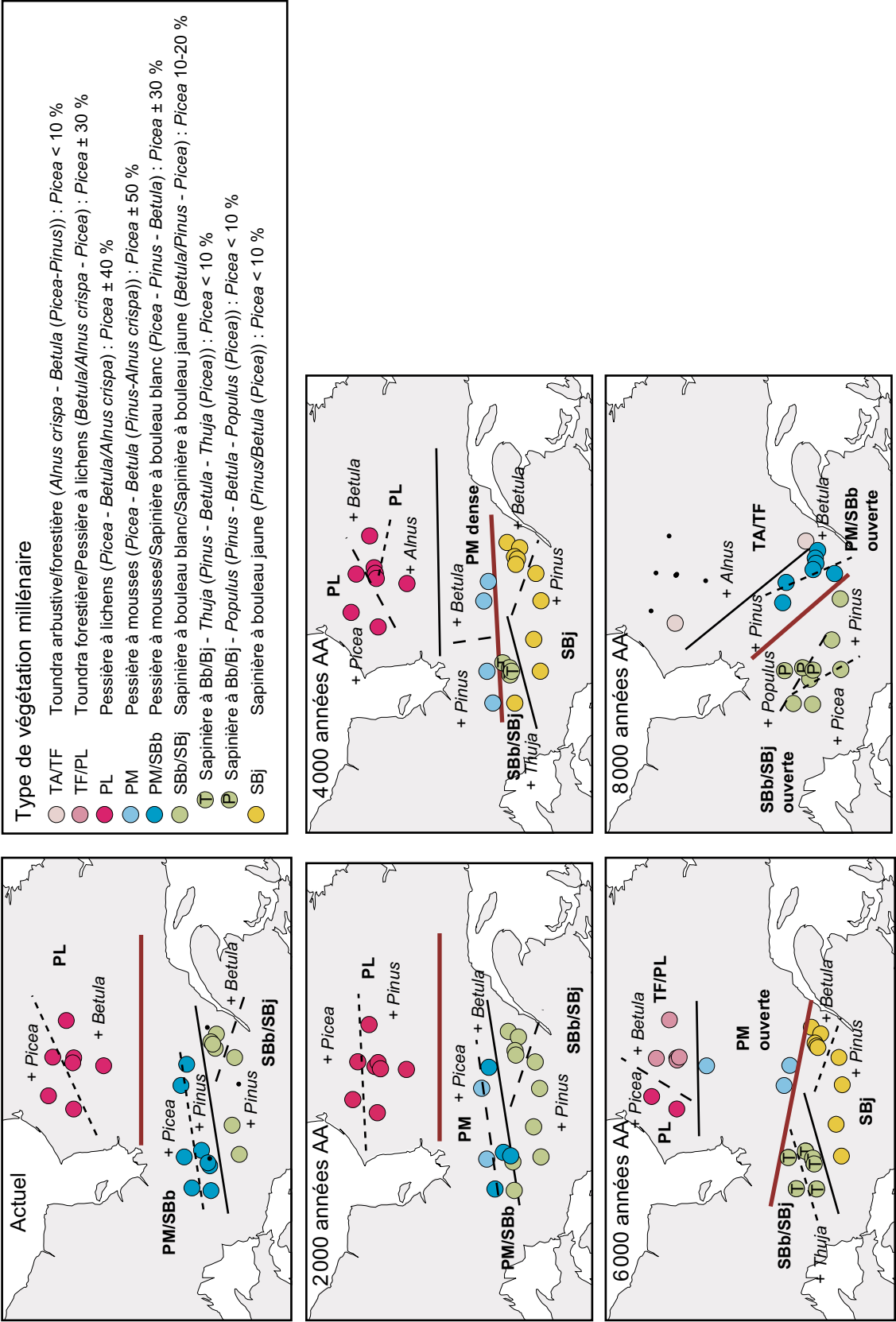


Figure 22. Cartes de la répartition des végétations millénaires dans l'ouest du Québec à la période actuelle et à 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 ans AA. La reconstitution de la végétation tient compte de la provenance des analogues (groupe K-means) (voir le supplément 5, disponible sur demande), de l'assemblage type des végétations du Québec (tableau 3) et du pourcentage de *Picea* dans les assemblages. Les différents traits sur les cartes réfèrent aux ordres de groupement illustrés sur la figure 21. Le dernier regroupement, c.-à-d. celui de 1^{er} ordre (trait rouge), sépare les sites avec des GDD5 millénaires < 1 000 degrés-jours de ceux ayant des GDD5 > 1 000 degrés-jours (voir la figure 21). Les noms de taxons renseignent sur ce qui caractérise les sites d'une même végétation (séparés de ceux des autres végétations par les traits pointillés). L'assemblage pollinique des végétations millénaires reconstituées est décrit sommairement dans la légende.

Grande Ceinture d'Argile, tandis que celui de *Betula* est prédominant dans l'est. Par ailleurs, le pollen de *Picea* est plus abondant dans l'ouest, bien qu'il soit très faible dans l'ensemble des sites méridionaux.

Le couvert forestier vers 6000 ans AA était plus dense qu'à 8000 ans AA, mais toujours plus ouvert qu'actuellement. La végétation était plus morcelée qu'aujourd'hui (figure 22). L'étonnante diversité de la végétation à 6000 ans AA, notamment les différences entre le nord et le sud du territoire d'étude, peut s'expliquer par le contraste climatique entre la Jamésie et l'Abitibi-Sagamie à cette époque. Une reconstitution climatique basée sur un autre indicateur que le pollen conforterait cette interprétation. Néanmoins, puisque la glace était toujours présente dans le nord-est du territoire jusque vers 7000 ans AA (Dyke 2005), le contraste climatique reconstitué est fort plausible. La répartition et la diversité de la végétation sur le territoire d'étude à 6000 ans AA pourraient donc s'expliquer par la chronologie de la déglaciation des sites.

Dans le nord du territoire, c'est à cette époque que s'installe la végétation de pessière. La répartition des 3 différentes végétations reconstituées dans cette région s'explique bien par le recul progressif de la calotte glaciaire vers le nord-est. Vers 6000 ans AA, des lambeaux de glace persistaient encore au centre du Nunavik (Dyke 2005). Pour les sites les plus près de la glace, c'est l'afforestation, alors que pour les sites plus distants, c'est déjà la forêt. Dans les environs des sites LG4, les plus tardivement déglacés, une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens colonisait les sols de la région. Les arbustes dominaient la végétation et les épinettes noires étaient très dispersées sur le territoire. Plus à l'ouest, plus près de la baie d'Hudson, une végétation de pessière à lichens était présente. Les épinettes noires étaient plus abondantes que dans les environs des sites LG4, au détriment des bouleaux. Les aulnes crispés étaient présents à cet endroit et aux environs des sites LG4. Plus au sud, dans le centre-nord du territoire d'étude — dans les environs des villes de Chibougamau et de Chapais — une forêt ouverte de pessière à mousses était présente à cette époque. Contrairement aux sites plus au nord, les aulnes crispés étaient absents. Les épinettes noires dominaient la végétation. À cette époque, les bouleaux étaient plus abondants aux côtés des épinettes noires. Contrairement à aujourd'hui, les pins gris étaient beaucoup plus rares dans la région.

Dans le sud du territoire, cette époque signe la fin de la première période de la phase forestière. La forêt est plus dense qu'auparavant. Des sapinières

colonisaient les sols de la région à 6000 ans AA. Une sapinière à bouleau jaune occupait l'est du territoire étudié, du Témiscamingue à la Sagamie. Les bouleaux dominaient le paysage, et des populations de pins blancs étaient sans doute présentes dans le sud-ouest de la région. Les sapins étaient moins abondants qu'aujourd'hui et qu'auparavant (8500-7500 ans AA) dans la végétation (figure 13). Dans l'ouest du territoire, une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune occupait les sols de la Grande Ceinture d'Argile. Les thuyas étaient abondants, et quelques pins blancs étaient probablement déjà présents dans la région (Terasmae et Anderson 1970). Les épinettes noires étaient plus abondantes qu'à 8000 ans AA, notamment dans le secteur Ouest de la PM actuelle (lat. 49° N.), c.-à-d. dans les environs des sites CRATES et PESS.

4.4.2.3 Il y a 4000 ans

Cette époque (4000 ans AA) peut être associée à la province pollinique « *Betula* » (env. 5500-3500 ans AA, figure 16). La forêt est dense (TAP moyen : env. 15000 grains·cm⁻²·an⁻¹, figure 19), notamment dans le centre-nord du territoire d'étude, soit dans les environs des sites LG412 et CH2 (figure 13). Le climat de l'époque ne différait pas beaucoup de l'actuel. Les anomalies climatiques suivantes ont été reconstituées pour l'ensemble du territoire : MTWA : +0,1 °C; MTCO : +1,5 °C; PANN : +10 mm·an⁻¹; SJJJA : +1 % (figure 19). Puisque ces anomalies sont comprises dans la marge de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de la technique de reconstitution (annexe 8), on peut considérer que le climat qui prévalait sur le territoire d'étude vers 4000 ans AA était comparable à l'actuel.

Il existe toujours un contraste climatique entre le nord et le sud du territoire d'étude, mais surtout pour les précipitations annuelles (PANN, figure 20). Le contraste est beaucoup moins prononcé qu'auparavant, en ce qui concerne la température (MTWA et MTCO) et l'ensoleillement (SJJJA). En Jamésie (lat. 52°-54° N.), les précipitations étaient toujours moins abondantes qu'actuellement (anomalie des PANN : -20 mm·an⁻¹), alors qu'en Abitibi et en Sagamie (lat. 47°-49° N.), elles étaient plus abondantes (anomalie des PANN : +40 mm·an⁻¹).

À la période 4500-3500 ans AA, comme c'était le cas à 6000 ans AA, les assemblages polliniques de sites sont très diversifiés à travers le territoire (figure 21). En Jamésie (lat. 52°-54° N.), le pollen de *Picea* est de plus en plus abondant, au détriment du pollen de *Betula* et d'*Alnus crispa*. Le pollen de *Picea* est tout particulièrement abondant dans le nord-ouest de la région. Un peu plus au sud (lat.

49° N.), dans les sites du domaine de la PM actuelle, le pollen de *Picea* est également plus abondant qu'auparavant. Contrairement à 6000 ans AA, il excède maintenant celui de *Betula*. À 6000 ans AA, l'assemblage pollinique des sites du secteur Est (CH2 et DES) de la PM actuelle était différent de celui des sites du secteur Ouest (CRATES et PESS). Ce n'est plus le cas vers 4000 ans AA. L'assemblage pollinique des sites des deux secteurs est maintenant comparable (voir le dendrogramme). Plus au sud (lat. 47°-48° N.), dans la SBb et la SBj actuelles, l'assemblage pollinique des sites est comparable à celui de 6000 ans AA. Les pourcentages de *Betula* et de *Picea* sont légèrement plus importants qu'auparavant, et ceux de *Pinus (strobis)* et de *Thuja* sont, en contrepartie, légèrement plus faibles. Le pollen de *Thuja* est toujours exclusif aux sites de la Grande Ceinture d'Argile. Son pourcentage est toutefois très faible dans les sites les plus à l'ouest, en Ontario notamment (CRATES et SIX).

Les différentes végétations sont maintenant distribuées selon les latitudes et sont relativement homogènes d'ouest en est (figure 22). Il y a toujours un léger contraste entre l'est et l'ouest du territoire, mais beaucoup moins prononcé qu'avant. Le cortège d'arbres dans la forêt était différent de celui vers 6000 ans AA, mais le type de végétation était comparable. En Jamésie, les épinettes noires sont de plus en plus abondantes sur le territoire. Une végétation de pessière à lichens était présente dans la région. Les pins gris étaient rares sur le territoire. C'est à cette époque que la pessière à mousses s'est implantée, avec un couvert forestier dense, tout particulièrement dans les environs des villes de Chapais et de Chibougamau (Garralla et Gajewski 1992). Plus au sud, dans l'ouest (Abitibi), une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et à bouleau jaune riche en thuyas, comparable à celle d'env. 6000 ans AA, était présente. Son extension était toutefois beaucoup plus réduite, car les populations de thuyas ont régressé vers l'est et sont devenues de plus en plus rares en Ontario. Comme à 6000 ans AA, une végétation de sapinière à bouleau jaune colonisait les sols à l'est et au sud-est de l'Abitibi. Dans le sud (lat. 47°-48° N.), les populations d'épinettes noires étaient sans doute comparables à celles de 6000 ans AA et donc, toujours rares sur le territoire. Les bouleaux abondaient dans la végétation de l'époque (4000 ans AA).

4.4.2.4 Il y a 2000 ans

Cette époque (2000 ans AA) peut être associée à la dernière province pollinique « *Picea — Pinus banksiana — Abies* » (env. 3500 ans AA à aujourd'hui) (figure 16). Dans l'ensemble, la densité

forestière du territoire (TAP 12 000 grains·cm⁻²·an⁻¹) était comparable à celle présente vers 4000 ans AA (TAP 15 000 grains·cm⁻²·an⁻¹). Une différence régionale du TAP entre le nord et le sud du territoire pourrait expliquer la plus faible valeur vers 2000 ans AA (figure 20). Pour l'ensemble des sites, le TAP augmente de 6000 à 4000 ans AA, puis diminue de 4000 à 2000 ans AA en Jamésie et en Sagamie et augmente en Abitibi (figure 20). Ce résultat suggère que le couvert forestier s'est ouvert graduellement en Jamésie et en Sagamie et qu'il s'est densifié en Abitibi. Dans l'ensemble, le climat qui prévalait sur le territoire d'étude il y a 2000 ans était comparable à celui de l'époque précédente (4000 ans AA), tout comme il se compare à l'actuel. Les anomalies climatiques reconstituées à 2000 ans AA sont très faibles et non significatives (figure 19).

Néanmoins, comme à 4000 ans AA, il y a un contraste entre les précipitations annuelles de la Jamésie (lat. 52°-54° N.) et celles du territoire situé au sud (Abitibi-Sagamie) (lat. 47°-49° N.). À 2000 ans AA, le contraste entre les deux régions est plus prononcé que précédemment. L'anomalie climatique des PANN entre les deux régions est deux fois plus grande à 2000 ans AA (globalement, env. 60 mm·an⁻¹, soit -30 mm·an⁻¹ en Jamésie et +90 mm·an⁻¹ en Abitibi-Sagamie) qu'à 4000 ans AA (120 mm·an⁻¹).

Au cours de la période de 2500 à 1500 ans AA, les assemblages polliniques des sites sont beaucoup plus uniformes à travers le territoire qu'à 4000 ans AA (figure 21). Le pollen de *Picea* est notamment plus abondant. Les assemblages polliniques des sites de la Jamésie sont clairement différents de ceux des sites du domaine de la PM actuelle (lat. 49° N. : sites CRATES, PESS, CH2 et DES). Le contenu pollinique des sites du domaine de la PM se compare maintenant à celui des sites plus au sud, dans les domaines de la SBb et de la SBj actuelles (lat. 47°-48° N.). En Jamésie, le pourcentage de *Betula* est plus faible qu'à 4000 ans AA, et celui de *Pinus (banksiana)* est plus important. Dans le sud (lat. 47°-49° N.), le pourcentage de *Pinus banksiana* augmente, au détriment de celui de *Pinus strobis* (voir les diagrammes de la figure 14). Le pourcentage de *Betula* diminue dans les sites du domaine de la PM actuelle (figure 14b), alors qu'il se compare à celui de 4000 ans AA dans les sites des domaines de la SBb et de la SBj actuelle (figures 14c, d, e). Par contraste, sur ces sites méridionaux, le pourcentage d'*Abies* culmine vers 2000 ans AA (figure 12). Il se compare alors à celui de la période 8500-7500 ans AA.

Il y a 2000 ans, la végétation était donc principalement distribuée selon les latitudes et elle était plus uniforme d'ouest en est qu'à 4000 ans AA (figure 22). Elle se compare à la végétation actuelle. À cette époque, le couvert forestier s'ouvre dans la Jamésie et se densifie ailleurs, notamment en Abitibi (secteurs Ouest des domaines de la PM et de la SBb actuelles). En Jamésie, les bouleaux et les aulnes crispés se raréfient graduellement sur le territoire, au profit des épinettes noires et des pins gris. Une végétation de pessière à lichens, comparable à l'actuelle, colonisait les sols. Plus au sud, sur le territoire de la PM actuelle, les bouleaux régressent au profit des épinettes noires et des pins gris. Un mélange de pessière à mousses et d'une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb) colonisait les sols de la région. Plus au sud encore (lat. 47°-48° N.), les populations d'épinettes noires, de sapins et de pins gris progressent au détriment des thuyas et des pins blancs. Les espèces boréales sont de plus en plus abondantes dans le paysage. Une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj) colonisait les sols de la région. La végétation de sapinière à bouleau jaune, telle qu'elle était à l'époque précédente (4000 ans AA), n'existait plus sur le territoire, car la proportion d'épinettes noires était devenue trop importante, vers 2000 ans AA, pour qu'on puisse attribuer les assemblages polliniques à cette végétation (voir la section 4.1.3). Toutefois, il est possible que l'enrésinement des creux du relief ait entraîné une augmentation de la représentation pollinique de l'épinette noire, mais sans que le couvert végétal des stations mésiques du domaine de la SBj ne soit affecté.

4.4.2.5 Végétation et climat actuels

Il s'agit de l'époque contemporaine. Par rapport à env. 2000 ans AA, on note une légère ouverture du couvert forestier. Le TAP de l'ensemble du territoire ($9000 \text{ grains}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$) est légèrement plus faible que précédemment ($12000 \text{ grains}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ à 2000 ans AA). Tout comme à 2000 ans AA, cette valeur est biaisée par les faibles valeurs de la Jamésie et de la Sagamie comparativement à celle de l'Abitibi (figure 20). Le climat actuel est bien reconstitué. Les anomalies climatiques sont minimales pour l'ensemble du territoire (figure 19) et à travers celui-ci (figure 20).

Les assemblages polliniques des sédiments de surface des 26 sites (figure 21; voir détails à la figure 11 et à la section 4.2.1) sont très comparables à ceux de 2000 ans AA. À quelques sites, le pourcentage de *Pinus banksiana* est plus abondant aujourd'hui qu'à 2000 ans AA.

La végétation actuelle est bien reconstituée (figure 22). Les différentes végétations sont distribuées selon les latitudes, et leur alignement suit le gradient thermique traversant la région. Une pessière à lichens occupe le nord du territoire (lat. 52°-54° N.). Sur le plan palynologique, cette végétation est différente de celle du sud du territoire (lat. 47°-49° N.), où l'on passe graduellement d'une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc à une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune. Le regroupement des grains de pollen de *Pinus* et la difficulté de distinguer au microscope 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. La prise en compte des espèces permettrait d'y remédier.

Chapitre cinq

Discussion

Cette étude visait à explorer la différenciation spatiale et temporelle du couvert végétal et du climat depuis la déglaciation dans les sous-domaines bioclimatiques occidentaux de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses du Québec. Les objectifs de l'étude sont atteints : (1) l'analyse des 1 010 sites de la base de données modernes de l'est du Canada a permis de préciser le lien entre les assemblages polliniques de surface, la végétation et le climat de l'est du Canada; (2) la végétation et le climat des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec ont été reconstitués de manière objective et numériquement fondée; (3) le résumé de la palynostratigraphie des sites à l'échelle de 8 secteurs a aidé à dresser le portrait de l'histoire de la végétation postglaciaire de l'ouest du Québec à l'échelle du domaine bioclimatique et à souligner le régionalisme des zones d'assemblages polliniques dans l'ouest du Québec; (4) le résumé des données polliniques et climatiques des 26 sites à l'échelle du millénaire a rendu possible l'étude de la dynamique spatiotemporelle de la végétation de l'ouest du Québec en lien avec le climat.

5.1 Lien entre les assemblages polliniques, la végétation et le climat de l'est du Canada

Le lien entre les assemblages polliniques, la végétation et le climat a été précisé récemment par Whitmore *et al.* (2005) à l'échelle des biomes dans l'ensemble de l'Amérique au nord du Mexique, mais l'applicabilité de la méthode à de plus petits territoires a reçu peu d'attention (Davis *et al.* 2000). Depuis lors, ce lien a été documenté pour les hautes latitudes ($> 50^{\circ}$ N.) du Canada, de l'Alaska et du Groenland (Fréchette *et al.* 2008a). Le présent travail de recherche a permis de l'examiner dans la forêt boréale et la forêt mixte du nord-est du Canada, à l'échelle des sous-domaines bioclimatiques.

La technique de groupement *K*-means a montré qu'il est possible de distinguer les différents sous-domaines bioclimatiques du territoire d'étude à partir de l'assemblage pollinique des sites de la base de données modernes. L'assemblage pollinique des sites de la forêt boréale et de la toundra forestière (groupe A) est numériquement bien distinct de celui des sites de la forêt mixte (groupe B) (figure 9b). Plus particulièrement, la technique a permis d'opposer les assemblages des sites au nord et au

sud de 50° de latitude N., en réponse au gradient thermique induit par la latitude. La température moyenne annuelle des sites au nord (c.-à-d. ceux du groupe A) est de $-3,5^{\circ}\text{C}$, alors que celle des sites plus au sud (c.-à-d. ceux du groupe B) est de $+3,5^{\circ}\text{C}$ (annexe 4).

La technique de groupement *K*-means a également montré que l'assemblage pollinique des sites modernes est distinct à l'ouest et à l'est d'env. 75° de longitude O., tant dans la forêt boréale que dans la forêt mixte. La seconde distinction des sites est donc liée à leur longitude et aux conditions hydroclimatiques. Un écart de près de 250 mm de précipitations annuelles totales distingue actuellement les deux secteurs (annexe 4), le secteur Ouest étant le plus sec. L'ensoleillement estival pourrait également expliquer les différences observées entre l'ouest et l'est. Cette distinction est également bien visible dans les courbes polliniques des sites postglaciaires de l'ouest du Québec (figure 12). En effet, la prévalence du pin gris sur le bouleau dans la végétation du secteur Ouest de la PM (PESS), de la SBb (FRANC) et de la SBj (CGC27) est bien marquée dans les assemblages polliniques des sites. À l'inverse, le pollen de *Betula* est plus abondant dans les assemblages des sites des secteurs Est de la PM (CH2), de la SBb (PRU) et de la SBj (MART). Ainsi, les résultats du groupement révèlent qu'il y a un lien entre le pollen et le climat.

La carte des 15 groupes d'assemblages polliniques modernes (figure 9c) a montré que les groupes se superposent généralement à plus d'un domaine bioclimatique. Toutefois, en pareil cas, les domaines réunis sont contigus. Les groupes d'assemblages polliniques identifiés ne sont donc pas exclusifs à une végétation définie à l'échelle du domaine bioclimatique. Par exemple, les groupes Aa1b et Aa2c, respectivement situés dans l'ouest et dans l'est de la forêt boréale, couvrent le territoire occupé par les domaines de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc (PM/SBb). De la même façon, l'emplacement du groupe Bc2, dans l'ouest de la forêt mixte, tout près de sa frontière avec la forêt boréale, englobe les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj). C'est également le cas pour le groupe Bb2 (SBb/SBj), dans l'est de la forêt mixte.

La majorité des sites à l'étude appartiennent aux sous-domaines bioclimatiques occidentaux de la pessière à mousses et de la sapinière à bouleau blanc. Le résultat du groupement *K*-means dans la base de données modernes a montré qu'il est difficile de distinguer les deux uniquement par l'assemblage pollinique d'un site. Lors de la reconstitution de la végétation postglaciaire des sites de l'ouest du Québec, les deux domaines bioclimatiques ont fréquemment été regroupés (PM/SBb). Néanmoins, le relief au lieu d'échantillonnage, ou tout autre caractère des environs du site, pourrait expliquer pourquoi l'assemblage pollinique des sites du domaine de la PM est comparable à celui des sites du domaine de la SBb. En effet, supposons qu'un site du domaine de la SBb soit situé dans une vaste étendue, à relief de plat à ondulé, dominée par le pin gris et l'épinette noire. Il est fort possible que l'assemblage pollinique du sédiment de surface de ce site se rapproche davantage d'une représentation de la PM que d'une de la SBb. En outre, le passage de la SBb à la PM est graduel, et la limite entre les deux domaines n'est pas toujours bien marquée. De telles considérations physiographiques ont été mises à contribution dans la méthodologie d'interprétation d'un diagramme pollinique prônée par Richard (1980b).

Finalement, le lien entre l'assemblage pollinique et la végétation est parfois de mauvaise qualité. En effet, nous avons vu que l'assemblage pollinique d'un site peut être « faussé » par rapport au domaine bioclimatique auquel il appartient. C'est notamment le cas pour les sites de la forêt mixte, riches en taxons herbacés, plus particulièrement en grains de pollen d'*Ambrosia*. Pour ces groupes (p. ex. groupe moderne Bb2, figure 9d), l'assemblage porte une marque anthropique et ne peut être utilisé pour décrire la signature pollinique du domaine bioclimatique (cf. Williams *et al.* 2009). Dans le cas du groupe Bb2, l'assemblage pollinique des sites reflète plutôt la végétation rudérale et agricole de la région.

5.2 Palynostratigraphie et végétation postglaciaires de l'ouest du Québec

Dans l'ensemble, les ZAP des sites des secteurs Est débutent environ 500 ans plus tôt que celles des sites des secteurs Ouest (figure 16). Par exemple, la ZAP dominée par le pollen de *Pinus strobus* débute avant 8 100 ans AA dans l'est du territoire et un peu plus tard, soit vers 7 500 ans AA, dans l'ouest. De la même façon, les ZAP de la SBj débutent généralement plus tôt que celles de la SBb et de la PM. Par exemple, la ZAP sommitale riche en *Picea* et en *Pinus banksiana* débute environ 1 000 ans plus

tôt dans la SBj que dans la PM, et ce, dans les secteurs Est et Ouest. L'âge de la déglaciation des sites explique en grande partie ces délais (voir la section 1.4).

La chronologie des ZAP des sites d'une même région est parfois asynchrone (figure 15). C'est notamment le cas pour le secteur Ouest de la SBb, auquel appartient le lac Francis. Un délai de près de 1 000 ans est observé entre les ZAP du lac Francis et celles des sites YELLE et CLO, distants de moins de 15 km du lac Francis. Le type de matériel daté (FRANC : macrorestes végétaux; YELLE et CLO : sédiment en vrac) pourrait expliquer l'asynchronisme observé. Puisque la majorité des datations au radiocarbone des sédiments à l'étude ont été faites sur du matériel en vrac (voir l'annexe 6), cette explication pourrait également être invoquée pour justifier l'asynchronisme observé entre les ZAP des autres sites à l'étude. Des décalages temporels initiaux pourraient aussi résulter de la présence de culots de glace morte ou d'icebergs échoués (cas du lac Francis dans le lac proglaciaire Ojibway) persistant longtemps après la déglaciation régionale dans certains des bassins. Les décalages survenant ultérieurement, quant à eux, reflètent sans doute l'imprécision des modèles d'âge et traduisent probablement les limites de la méthode. Le diachronisme dans la composition de la végétation (et dans les assemblages polliniques) est sans doute réel quand il correspond à un gradient latitudinal ou longitudinal, ou qu'il va dans le sens de la déglaciation.

5.2.1 Régionalisme de la palynostratigraphie

Les diagrammes polliniques des sites de l'ouest du Québec ont été segmentés en ZAP. La comparaison de ces ZAP a permis de dresser le cadre de la palynostratigraphie postglaciaire et d'identifier des provinces polliniques. La palynostratigraphie des sites a été résumée par domaine bioclimatique et par secteur (PM, SBb, SBj : Ouest et Est; PL : Nord et Sud). Cette stratégie de regroupement des sites permet d'étudier l'histoire de la végétation en lien avec le gradient latitudinal de la température et le gradient longitudinal des précipitations. L'existence d'un régionalisme du développement de la végétation postglaciaire a été soulignée par Richard (1993), mais à l'échelle de la forêt mixte québécoise.

La palynostratigraphie des sites des sous-domaines occidentaux de la PM, de la SBb et de la SBj du Québec révèle un contraste entre les secteurs Est et Ouest du territoire d'étude, de part et d'autre du méridien 75° O. Cette opposition est bien mise en évidence par la ZAP à *Thuja*, uniquement observée parmi les sites des secteurs Ouest

de la PM et de la SBb. Le type de dépôt meuble entourant les sites et sur lequel croît la végétation explique le contraste palynostratigraphique observé entre les deux secteurs. Sur les sites des secteurs Ouest, les dépôts argileux sont abondants (Grande Ceinture d'Argile), alors que sur ceux des secteurs Est, c'est du till.

La palynostratigraphie des sites montre qu'il y a des ZAP communes à presque tous les sites, comme la ZAP à *Pinus strobus* (env. 7500 ans AA) et celle à *Picea*, plus récente (env. 3500 ans AA). L'observation d'une ZAP à *Pinus strobus* sur l'ensemble du territoire, même aux sites où l'espèce est rare ou absente, peut s'expliquer par la large dispersion du pollen de l'espèce. Pour certains sites, la ZAP récente à *Picea* n'est pas causée par la multiplication des épinettes sur les sites mésiques, mais plutôt par l'enrésinement (ou la paludification) autour des lacs. Pour ces sites, l'augmentation de la représentation du pollen de *Picea* dans les assemblages ne peut être interprétée comme un changement de domaine bioclimatique. L'abondance des autres taxons doit être prise en compte.

5.2.2 Absence d'une végétation de toundra au début de la période postglaciaire

La végétation du début de la période postglaciaire (pré-9000 ans AA) dans le territoire étudié n'a jamais été interprétée comme une toundra à proprement parler. Ce constat peut surprendre. En effet, la **phase non arboréenne** de la végétation, telle que décrite par Richard (1977), n'a jamais été observée dans les diagrammes des sites de l'ouest du Québec. En outre, le pollen des plantes arctiques alpines n'a pas été relevé dans les assemblages à la base des diagrammes polliniques des sites (annexe 5). Les assemblages initiaux témoignent plutôt de l'immigration de certaines espèces arborescentes, à côté des autres plantes, ou encore des premiers temps de la phase d'afforestation.

La reconstitution de la végétation présentée dans ce travail de recherche est principalement numérique et s'appuie sur la méthode des analogues modernes. Nous avons comparé les assemblages polliniques postglaciaires des sites de l'ouest du Québec aux assemblages modernes de la base de données de l'est du Canada, et transposé la végétation des meilleurs assemblages actuels aux assemblages fossiles. Les assemblages polliniques actuels de l'Arctique, à végétation de toundra, ont été exclus de la base de données modernes utilisée dans ce travail de recherche. On pourrait être tenté d'invoquer cela pour expliquer pourquoi aucune végétation de toundra n'a été reconstituée. Cette justification ne tient toutefois pas la route, et voici

pourquoi : à travers l'ouest du Québec, les assemblages du début de la période postglaciaire sont dominés par le pollen de *Picea*, de *Pinus banksiana* et d'*Alnus crispa*. Dans ces assemblages, les pourcentages de *Populus* et de *Quercus* excèdent généralement celui du pollen herbacé. Actuellement, dans l'Arctique, les pourcentages de *Picea*, de *Pinus* et d'*Alnus crispa* dans les assemblages sont faibles (< 20 %), et le pollen de *Populus* et de *Quercus* est généralement absent (voir la figure 1 dans Fréchette et al. 2008a). Les assemblages polliniques du début de la période postglaciaire ne se comparent pas à ceux de la végétation de toundra comme on la connaît aujourd'hui. On pourrait également invoquer la plus grande dissimilarité (SCD) entre les assemblages modernes retenus et les assemblages du début de la période postglaciaire pour expliquer l'absence d'une végétation de toundra. Dans un tel cas, cela sous-entend qu'il n'existe pas de végétation contemporaine comparable à celle qu'il y avait sur le territoire avant 9000 ans AA. Cela est tout à fait possible et s'applique particulièrement aux sites du domaine de la SBj (SCD > 0,20). Toutefois, pour les sites des domaines de la SBb et de la PM, les assemblages du début de la période postglaciaire ont une bonne contrepartie actuelle (SCD ≈ 0,15). Pour ces sites, il est possible que le sédiment du début de la période postglaciaire n'ait pas été récupéré au moment de l'échantillonnage.

5.2.3 Forts pourcentages du pollen de pin blanc au début de la phase forestière

Les forts pourcentages de *Pinus strobus* entre 7000 et 5000 ans AA méritent qu'on y porte attention. Cette espèce produit beaucoup de pollen, facilement dispersé par le vent sur de très longues distances, parfois même jusqu'à la terre de Baffin. Elle est surreprésentée par son pollen, et son abondance au tout début de la phase forestière a constitué un sujet de débat. Davis (1963) doutait de sa présence locale à cette époque. Les différentes critiques qu'elle a soulevées sont bien résumées dans la thèse de P.J.H. Richard, publiée en 1977 (p. 225-230). Aujourd'hui, il est admis que le pin blanc ne formait pas de peuplements étendus à cette époque et que par la suite, lors de son expression pollinique maximale, il ne dominait certainement pas la composition forestière du Québec méridional (Richard 1977).

Parmi les hypothèses suggérées par Dansereau (1953) et examinées par Richard (1977, p. 228-230) pour expliquer une participation accrue du pin blanc à la forêt mixte à l'époque du maximum de représentation pollinique de l'espèce, entre 8500 et 4500 ans AA, il y en a une qui est intrigante, à

savoir une plus grande illumination. Le pin blanc est une espèce qui ne tolère pas bien la compétition, et son installation (et sa prolifération) durant la colonisation végétale postglaciaire s'explique difficilement. Toutefois, cette relative intolérance du pin blanc aurait pu être compensée par une plus grande quantité de lumière selon Dansereau (1953). Or, nos reconstitutions climatiques ont montré que le nombre d'heures d'ensoleillement en été (SJJJA) était plus important (d'environ 4 %) avant 5000 ans AA qu'aujourd'hui (figure 19), et ce, tout particulièrement dans l'ouest du territoire, en Abitibi (figure 20). Nos résultats appuieraient donc cette hypothèse soulevée par Dansereau (1953).

Richard (2003) a proposé une explication pour l'abondance du pin blanc durant sa représentation pollinique maximale, malgré le maintien des influx polliniques de l'érable à sucre. En effet, les TAP d'*Acer* auraient dû diminuer fortement s'il y avait eu un remplacement des populations engendré par la compétition. Or, tel n'est pas le cas, du moins d'après les données du lac Perch près de Petawawa, en Outaouais :

« Au Témiscamingue, dans la région au sud du lac Kipawa, une érablière à bouleau jaune mature, vierge croit-on, comprend de très gros pins blancs piqués ici et là de telle manière qu'on en aperçoit rarement d'autres quand on s'arrête pour observer les alentours, en cheminant dans cette forêt-cathédrale (Jean-Louis Brown 1981 et communication personnelle). La photographie aérienne montre des pins blancs aux houppiers presque jointifs; c'est, vu des airs, une vaste pinède claire avec l'érablière à bouleau jaune en sous-étage! C'est sans doute l'allure que présentaient la plupart des forêts préhistoriques des stations mésiques de ce que nous appelons aujourd'hui le domaine de l'érablière à bouleau jaune. Dans une bonne partie du domaine de la sapinière à bouleau jaune et du domaine de l'érablière à tilleul, ce devait être pareil. » (Richard 2003, p. 53).

Une telle structure de végétation, avec des pins blancs vétérans au-dessus d'une couverture d'érablières, favoriserait la représentation pollinique de *Pinus strobus* au détriment de celle des autres composantes de la forêt (manifestement dans les pourcentages, et plus modestement dans les influx), et aussi la dispersion de son pollen sur de très longues distances, jusqu'en forêt boréale et au-delà. L'hypothèse de Dansereau (1953) d'une plus grande illumination durant le maximum pollinique du pin blanc devrait être examinée par d'autres reconstitutions climatiques dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest, là où les populations de pins blancs sont abondantes.

5.2.4 Histoire postglaciaire de la végétation des sous-domaines bioclimatiques

Dans l'ensemble, la végétation du début de la phase forestière (env. 7500-5500 ans AA) était plus diversifiée sur le territoire que celle de la période suivante (env. 5500-3500 ans AA). La végétation actuelle de l'ouest du Québec s'est mise en place il y a environ 3500 ans, et depuis cette époque, elle est relativement homogène sur le territoire (figure 18).

5.2.4.1 Sous-domaine de la pessière à lichens de l'Ouest (lat. 52°-54° N.)

La végétation du début de la période postglaciaire (avant env. 6500 ans AA) était sans doute une toundra forestière. L'épinette noire était rare sur le territoire, alors que les peupliers et les arbustes étaient plus abondants qu'actuellement. Par la suite, entre 6500 et 4000 ans AA, une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens occupait les terres de la région. Plus à l'ouest, dans la région de Radisson (lat. 53° N., long. 77° O.), des populations locales de sapins baumiers étaient présentes il y a env. 5000 AA (Arseneault et Sirois, 2004). Depuis env. 4000 ans AA, une pessière à lichens colonise les sols de la région. Le pin gris est plus important dans la végétation depuis env. 2500 ans AA, notamment dans le secteur Sud.

5.2.4.2 Sous-domaine de la pessière à mousses de l'Ouest (lat. 49° N.)

La végétation du début de la période postglaciaire (avant env. 9500 ans AA) était sans doute une végétation de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichens. Une végétation ouverte de pessière à mousses lui a succédé (9500-7500 ans AA). Les bouleaux dominaient la végétation à cette époque. Par la suite, entre 7500 et 3000 ans AA, une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc était présente. Au lac aux Cèdres (lat. 49° 20' 45" N., long. 79° 12' 30" O.), à 20 km au nord du lac à la Pessière (PESS), une population locale de sapins était présente dans les environs de 7000 à 3000 ans AA (Ali et al. 2008). La biomasse de l'épinette noire progresse graduellement dans les paysages. Vers 3000 ans AA, les épinettes noires et les pins gris sont abondants dans la végétation. C'est à cette époque que s'est mise en place la pessière à mousses que l'on observe aujourd'hui. Depuis, cette végétation est relativement stable.

5.2.4.3 Sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest (lat. 48° N.)

La végétation du début de la période postglaciaire (avant env. 9000 ans AA) était sans doute une végétation de transition entre la pessière à

mousses et la sapinière à bouleau blanc. Le sol du secteur Ouest était inondé par les eaux du lac proglaciaire Ojibway. Vers 9000 ans AA, la végétation était une sapinière à bouleau blanc. De 8000 à 3000 ans AA, une végétation plus thermophile colonisait les sols de la région, soit une végétation de transition entre une sapinière à bouleau blanc et une sapinière à bouleau jaune. Vers 3000 ans AA, l'épinette noire redevient plus abondante et c'est le retour de la sapinière à bouleau blanc. Depuis, la végétation est relativement stable. Ces grands traits de l'histoire de la végétation de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest du Québec sont également observés du côté de l'Ontario (Genries et al. 2012, Girardin et al. 2013).

5.2.4.4 Sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (lat. 47° N.)

La végétation du début de la période postglaciaire (avant env. 9500 ans AA) était sans doute, comme pour les sites du sous-domaine occidental de la SBb (lat. 48° N.), une végétation de transition entre la pessière à mousses et la sapinière à bouleau blanc. De 9500 à 7500 ans AA, la végétation était une sapinière à bouleau blanc. De 7500 à 4000 ans AA, une végétation de sapinière à bouleau jaune colonisait les sols de la région. Depuis env. 4000 ans AA., une végétation de transition entre la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune est présente dans les environs. Depuis, la végétation est relativement stable.

5.3 Histoire millénaire de la végétation de l'ouest du Québec en lien avec le climat

La reconstitution de la végétation millénaire (figure 22) est légèrement différente de celle fondée sur la palynostratigraphie postglaciaire des sites (figure 17), ce qui peut s'expliquer par les assemblages polliniques inclus dans la tranche d'âge millénaire de sédiments. Dans le cas de la végétation millénaire, la reconstitution est basée sur un assemblage pollinique moyen par tranches de 1000 ans de sédiment qui peut inclure des assemblages appartenant à deux ZAP différentes. Dans un tel cas, les assemblages inclus dans la tranche de 1000 ans de sédiments peuvent ne pas être comparables. À l'inverse, la reconstitution basée sur les ZAP est fondée sur une suite d'assemblages polliniques comparables. Les taxons considérés pour la reconstitution de la végétation à partir des ZAP sont différents de ceux utilisés pour la reconstitution de la végétation millénaire.

5.3.1 Séquence des domaines bioclimatiques

Des gradients de végétation et du climat postglaciaires ont été mis en évidence à travers

l'ouest du Québec. Actuellement, les gradients de composition et de structure de la végétation sont essentiellement orientés selon les latitudes, le long du gradient de la température. Au début de la période postglaciaire, les gradients étaient plutôt répartis d'ouest en est. Des vents d'ouest plus forts qu'actuellement, ainsi que la présence de la calotte glaciaire à l'extrémité est du territoire, pourraient expliquer ce changement dans la répartition de la végétation, notamment avant 6000 ans AA. À cette époque, des types de végétation contrastés se côtoyaient, alors qu'aujourd'hui, une plus grande uniformité est observée à travers le territoire. La plus grande diversité dans le couvert forestier de l'ouest du Québec est observée avant env. 5000 ans AA. Dans l'ensemble, le climat de cette époque était plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui. À travers l'ouest du Québec, une transition climatique est répertoriée vers 5000 ans AA. Elle est marquée par un refroidissement de la température et par une augmentation des précipitations et de la nébulosité. Cette transition pourrait s'expliquer par un affaiblissement de l'intensité de la circulation atmosphérique.

À l'échelle du millénaire, des types de végétation contrastés se côtoyaient de 6000 à 4000 ans AA. C'est à cette époque, soit vers 5000 ans AA, que le climat relativement chaud et sec du début de la période postglaciaire s'est rafraîchi. Les précipitations annuelles et la nébulosité se sont accrues, alors que les grands vents d'ouest se sont affaiblis. La prévalence d'un climat plus humide depuis env. 4000 ans AA concorde avec les hauts niveaux lacustres observés plus au sud, dans l'est de l'Amérique du Nord, au cours de la même période (p. ex. Webb et al. 1993). Le climat des 4000 dernières années semble avoir été propice aux populations d'épinettes noires et à la « boréalisation » du territoire (Carcaillet et al. 2010).

5.3.2 Absence d'une végétation de sapinière à bouleau blanc

La sapinière à bouleau blanc « pure » n'a jamais été reconstituée à l'échelle du millénaire (voir la figure 22). Elle a dû être associée à la pessière à mousses (PM/SBb) ou à la sapinière à bouleau jaune (SBb/SBj). Dans le cas de la reconstitution basée sur les ZAP, la sapinière à bouleau blanc a été identifiée (figure 17). La distinction palynotaxonomique des grains de *Pinus* dans les assemblages pourrait expliquer la reconstitution de la SBb à partir des ZAP. Le regroupement des grains des diverses espèces de *Betula* pourrait également expliquer pourquoi il est difficile de distinguer la SBb de la SBj à partir d'un assemblage pollinique uniquement, notamment si les *Pinus* sont regroupés comme ils l'ont été lors de la reconstitution de la végétation millénaire.

Le pin gris et le bouleau blanc prédominent dans la SBb alors que le pin blanc et le bouleau jaune sont plus abondants au sud, dans la SBj.

5.3.3 Densité maximale de la forêt

Dans l'ouest du Québec, le TAP est maximal vers 4000 ans AA. Le climat de cette époque était frais et humide. La fréquence des feux de forêt était moindre à ce moment (Carcaillet et Richard 2000). Tous ces facteurs semblent avoir été bénéfiques à la densification du couvert forestier de la région. Ils peuvent également avoir permis l'extension des populations de sapin baumier sur le territoire depuis env. 3500 ans AA. Il y a également une autre possibilité. Les assemblages polliniques de cette époque sont dominés par le pollen de *Betula* (figure 12). Comme les bouleaux sont de prolifiques producteurs de pollen, les fortes valeurs du TAP total vers 4000 ans AA sont manifestement liées à l'abondance du pollen de *Betula* dans les assemblages. Ce constat affecte l'interprétation de la valeur du TAP total de cette époque.

Le TAP des sites CH2 et LG412 est très élevé vers 4000 ans AA, puis chute abruptement vers 2500 ans AA (figure 13). Il se peut que le TAP de ces sites ait été affecté par la focalisation sédimentaire (Davis et Ford 1982, Lehman 1975), et donc pollinique, différentielle avec le temps au sein d'un lac, selon sa morphométrie. Ce phénomène est très fréquent, mais dans certains lacs, il peut engendrer une diminution progressive de l'apport sédimentaire au point d'échantillonnage, à mesure que s'accumulent les sédiments. Au départ, la focalisation est généralement élevée et tend à concentrer les sédiments et le pollen au centre du bassin. Au début du postglaciaire, elle survient toutefois lorsque les populations végétales se mettent en place. Conséquemment, un accroissement du TAP traduit alors effectivement une augmentation marquée des populations végétales autour du site. Par la suite, avec l'accumulation des sédiments, les apports sédimentaire et pollinique sont de plus en plus répartis sur une plus grande surface des sédiments; la focalisation diminue alors et, pour un même apport sédimentaire absolu ou pour un même apport pollinique au lac, le TAP fléchit et la tendance peut même s'inverser sans que cela traduise une diminution dans la densité de la végétation. Chaque lac étant unique par sa morphométrie, le phénomène de focalisation est difficile à reconnaître. Il affecte surtout les lacs dont le rapport entre la profondeur d'eau et l'épaisseur des sédiments est faible (tableau 1). Parmi les 8 lacs retenus sur la figure 13, seuls les sites CH2 et LG412 pourraient avoir subi le phénomène de focalisation à un point tel que les

TAP en soient fortement affectés, apparemment depuis environ 2500 ans AA. Les sites des domaines des sapinières ne présentent pas ce phénomène, bien au contraire (figure 13). En conséquence, il y a une forte probabilité que la diminution des TAP enregistrée dans la partie supérieure des sédiments des sites CH2 et LG412 traduise effectivement une diminution de l'abondance de la végétation et des principales essences associées.

Si l'on considère que la densité de la végétation d'une région est en lien avec son climat, la courbe du TAP des sites indique qu'il existerait un contraste climatique entre le domaine de la PL et une grande partie de ceux de la PM, de la SBb et de la SBj, soit le sud du territoire d'étude. Ces résultats démontrent que le TAP total peut être utile pour estimer la densité de la végétation, à condition que les sites aient des propriétés taphonomiques comparables. Le fait que ce soient tous de petits lacs (0,2 à 10 ha, superficie moyenne de 3,5 ha, profondeur d'eau moyenne de 500 cm et épaisseur moyenne des sédiments de 425 cm, tableau 1), sans affluents majeurs (ruisseaux aux débits intermittents ou nuls) explique sans doute ces bons résultats.

5.3.4 Déclin des populations de thuyas et de pins blancs

La recrudescence de la fréquence des incendies de env. 5000 à 4000 ans AA (Ali *et al.* 2012) a sans doute contribué au déclin des populations de thuyas. Le thuya est reconnu pour son manque d'adaptation au feu. La disparition des populations de thuyas vers 4000 ans AA coïncide également avec une augmentation des précipitations annuelles et de l'enneigement à travers l'ouest du Québec. Comme le thuya est une essence sensible à l'ombrage, le déclin des populations à cette époque pourrait être lié à ce changement climatique. Il est également possible que le déclin des populations de thuyas soit lié à la nature même des sols de la région. Les populations postglaciaires de thuyas ont essentiellement occupé les sols de la Grande Ceinture d'Argile en Abitibi. L'augmentation des précipitations annuelles et la plus grande abondance de conifères dans la forêt vers 4000 ans AA ont pu favoriser l'accumulation de matière organique à la surface des sols de la région. Cela aurait limité l'étendue des sols argileux propices à la croissance des thuyas (Liu 1990).

Le déclin des populations de pins blancs dans l'ensemble de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à bouleau jaune de l'ouest du Québec depuis 7000 ans AA semble être en lien avec le refroidissement de la température au cours de la même période. Des résultats de modélisation suggèrent

que les populations de pins blancs, notamment dans la forêt mixte des provinces atlantiques, sont susceptibles de migrer vers le nord en réponse à un éventuel réchauffement climatique (Dombroskie et al. 2010). Leur plus grande abondance entre 7500 et 5500 ans AA pourrait également s'expliquer par une plus grande quantité de lumière. Par la suite, le refroidissement du climat, l'enneigement progressif, l'incidence de feux répétés et la plus grande compétition entre les espèces ont pu entraîner leur régression.

5.3.5 Effet de la circulation atmosphérique

Nos résultats climatiques indiquent qu'un déficit des précipitations est propice aux feux de forêt et qu'un réchauffement climatique n'est pas garant d'une augmentation des incendies. Les masses d'air, c.-à-d. la circulation atmosphérique, semblent avoir influencé les précipitations. Il ne semble pas y avoir de lien précis entre un réchauffement climatique et un déficit de précipitations.

Les résultats de la reconstitution des PANN et du SJJA aux 26 sites indiquent qu'entre env. 9000 et 5000 ans AA, le climat dans l'ouest du Québec était relativement sec, avec de forts vents d'ouest. La circulation atmosphérique de l'époque était alors plus intense et principalement d'ouest en est, donc anticyclonique. De plus, le climat de l'ensemble du nord-est de l'Amérique du Nord avant 5000 ans AA aurait été plus sec qu'actuellement, d'après le relevé de pollen de *Quercus* dans la baie de Chesapeake. À cet endroit, le pollen de *Quercus* est plus abondant dans les sédiments couvrant la période de 10000 à 5000 ans AA que dans les sédiments des périodes subséquentes (5000-0 ans AA) (Willard et al. 2005). Selon ces auteurs, les apports massifs de pollen de *Quercus* à cette époque dans la baie de Chesapeake s'expliqueraient par la prévalence d'un climat relativement aride. Au Groenland, le relevé de la concentration de sel de mer (Na⁺)

dans la calotte glaciaire (site GISP2) indiquerait que la circulation atmosphérique avant 5000 ans AA était plus intense qu'actuellement. À cet endroit, la concentration de Na⁺ décroît continuellement depuis env. 10000 ans AA (O'Brien et al. 1995). Ces auteurs expliquent cette diminution progressive de la concentration de Na⁺ observée au site GISP2 par une diminution de l'intensité des tempêtes au-dessus de l'Atlantique Nord et par une circulation atmosphérique passant de plus en plus par les pôles depuis env. 10000 ans AA. Par extension, cette explication implique que la circulation atmosphérique au début de la période postglaciaire était plus intense qu'aujourd'hui et sans doute principalement zonale, soit d'ouest en est.

La prévalence d'une circulation anticyclonique et la présence de forts vents d'ouest au début de la période postglaciaire, notamment avant env. 5000 ans AA, a pu favoriser la migration vers le nord du courant-jet et une plus grande répartition de la forêt mixte dans l'ouest du Québec. Nous avons vu à la section 4.2.2 (figure 12) que les espèces thermophiles, notamment les pins blancs, étaient plus abondantes qu'aujourd'hui vers 5000 ans AA. Une position du courant-jet plus au nord qu'actuellement permet également d'expliquer l'aridité de l'époque (cf. Montero-Serrano et al. 2010). Par la suite, la prévalence d'une circulation plus cyclonique (par les pôles) a pu engendrer un apport accru des masses d'air froid en provenance de l'Arctique et la migration vers le sud du courant-jet. La position méridionale du courant-jet, jumelée à la diminution de l'insolation estivale et au refroidissement de la température, a pu favoriser l'extension de la forêt boréale. Pour l'instant, cette interprétation des résultats climatiques des 26 sites de l'ouest du Québec est une hypothèse qui demande à être corroborée par l'étude des sites de l'est du Québec et un relevé de la littérature.

Conclusion

Cette étude dresse un portrait de la dynamique de la végétation et du climat postglaciaires des sous-domaines bioclimatiques occidentaux 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. Cette recherche est la première d'une série de synthèses des données polliniques postglaciaires du Québec. Elle repose sur l'analyse des données polliniques de 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec et sur l'analyse de données polliniques de 1010 sites modernes de l'est du Canada. Les résultats de cette recherche complètent bien les études sur l'histoire des feux postglaciaires (p. ex. Ali *et al.* 2012, Carcaillet et Richard 2000) et les résultats des modélisations climatiques pour la région (p. ex. Ali *et al.* 2012, Oris *et al.* 2014).

La méthodologie utilisée pour la synthèse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation et du climat à travers l'ouest du Québec depuis la déglaciation est pionnière à plusieurs égards :

- 1) La végétation et le climat postglaciaires des 26 sites de l'ouest du Québec ont été reconstitués à partir d'une approche numériquement fondée qui s'appuie sur la méthode des analogues modernes. Cette méthode est basée sur la ressemblance entre un assemblage pollinique postglaciaire et un assemblage moderne. Le climat et la végétation de l'analogue moderne sont transposés à l'assemblage postglaciaire. La méthode des analogues modernes est fréquemment utilisée pour reconstituer les climats (par exemple, Viau et Gajewski [2009] pour la forêt boréale canadienne), mais son emploi pour la reconstitution de la végétation est ici exploré pour la première fois. Cette approche a été utilisée avec succès à l'échelle continentale des biomes (Williams *et al.* 2000), mais son application à l'échelle des domaines et sous-domaines bioclimatiques est novatrice.
- 2) Le classement des 1010 assemblages polliniques modernes de l'est du Canada selon leur ressemblance a clairement démontré le lien entre un assemblage pollinique de surface et la végétation de proximité. Le résultat de la technique de groupement *K*-means a rendu possible la détermination de la végétation des 1010 sites modernes de l'est du Canada

à l'échelle du domaine bioclimatique. Cette information est un ajout important à la base de données modernes de l'Amérique du Nord et du Groenland de Whitmore *et al.* (2005). En effet, la détermination de la végétation actuelle des sites de l'est du Canada est essentielle à la reconstitution de la végétation postglaciaire des sites de l'ouest du Québec à partir de la méthode des analogues modernes, car elle fournit le contexte bioclimatique actuel des sites de la base de données modernes.

- 3) Les reconstitutions du climat et de la végétation obtenues par la méthode des analogues modernes sont fiables, en ce sens que des analogues modernes ont toujours été trouvés parmi les 1010 sites de la base de données modernes. En conséquence, il existe aujourd'hui dans l'est du Canada des végétations comparables à celles qui se sont jadis succédées dans l'ouest du Québec depuis env. 9500 ans. Par ailleurs, les résultats de la reconstitution de la température estivale et des précipitations annuelles dans l'ouest du Québec se comparent aux résultats obtenus à l'aide des modèles climatiques pour la même région (Ali *et al.* 2012, Oris *et al.* 2014).
- 4) Les diagrammes polliniques des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec ont été segmentés en ZAP. La palynostratigraphie des sites a été résumée à l'échelle de 8 secteurs. La synthèse des données polliniques à l'échelle de 8 secteurs s'est avérée une excellente stratégie pour la reconstitution, numériquement fondée, de la végétation de l'ouest du Québec à l'échelle du domaine bioclimatique. En outre, cette approche a permis de distinguer 6 provinces polliniques postglaciaires à l'échelle de l'ouest du Québec, c.-à-d. 6 ZAP communes aux 8 secteurs. Ensemble, la synthèse des données polliniques des sites dans l'espace (8 secteurs), puis dans le temps (6 provinces polliniques), a permis d'étudier la dynamique spatiotemporelle de la végétation de l'ouest du Québec depuis la déglaciation. Cependant, nous devons souligner qu'un vaste territoire de plus de 500 km, entre les sites du secteur Ouest du domaine de la SBB (Abitibi) et ceux du secteur Est (Sagamié), est sans données polliniques postglaciaires. L'échantillonnage de sites dans les environs du réservoir Gouin

permettrait de combler cette lacune. Les résultats aideraient à préciser l'étendue de la province pollinique à thuya vers l'est et à corroborer la plus grande diversité dans le couvert forestier de l'ouest du Québec avant env. 5 000 ans AA.

- 5) Les données polliniques et climatiques des 26 sites de l'ouest du Québec ont été résumées par tranches de 1 000 ans de sédiments. La synthèse des données à l'échelle du millénaire a permis de mettre en lien les changements spatiotemporels de la végétation de l'ouest du Québec avec ceux du climat. Par ailleurs, l'illustration sur des cartes de la végétation millénaire a mis en évidence des gradients de végétation à travers l'ouest du Québec. Actuellement, les gradients de composition et de structure de la végétation sont essentiellement orientés selon la latitude, le long du gradient de la température. Au début de la période postglaciaire, les gradients étaient plutôt répartis d'ouest en

est. À cette époque, des types de végétation contrastés se côtoyaient, alors qu'aujourd'hui, une plus grande uniformité est observée à travers le territoire. Dans l'ensemble, le climat du début de la période postglaciaire dans l'ouest du Québec était plus chaud et plus sec qu'aujourd'hui, et le contraste climatique entre la Jamésie et l'Abitibi-Sagamié était plus important. Les gradients de végétation et du climat observés dans l'ouest du Québec ainsi que la plus grande diversité dans le couvert forestier de la région observée avant env. 5 000 ans AA, lors d'une époque plus chaude qu'aujourd'hui, doivent être précisés par l'étude des domaines bioclimatiques orientaux et méridionaux du Québec. À terme, la synthèse des données paléoécologiques de l'ensemble du Québec documentera les états de référence nécessaires à la mise en application de l'aménagement écosystémique, en révélant la variabilité naturelle des forêts du Québec méridional en lien avec les fluctuations climatiques.

Références bibliographiques

- Ali, A.A., H. Asselin, A.C. Larouche, Y. Bergeron, C. Carcaillet et P.J.H. Richard, 2008. *Changes in fire regime explain the Holocene rise and fall of Abies balsamea in the coniferous forests of western Québec, Canada*. Holocene 18: 693–703.
- 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: 20966–20970.
- 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 14C 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: 75–100.
- Arseneault, D. et L. Sirois, 2004. *The millennial dynamics of a boreal forest stand from buried trees*. J. Ecol. 92: 490–504.
- Barber, D.C., A. Dyke, C. Hillaire-Marcel, A.E. Jennings, J.T. Andrews, M.W. Kerwin, G. Bilodeau, R. McNeely, J. Southon, M.D. Morehead et J.-M. Gagnon, 1999. *Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes*. Nature 400: 344–348.
- Berger, A. et M.-F. Loutre, 1991. *Insolation values for the climate of the last 10 million years*. Quat. Sci. Rev. 10: 297–317.
- Bergeron, Y., S. Gauthier, M. Flannigan et V. Kafka, 2004. *Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Québec*. Ecology 85: 1916–1932.
- Bergeron, Y., D. Cyr, M.P. Girardin et C. Carcaillet, 2010. *Will climate change drive 21st century burn rates in Canadian boreal forest outside of its natural variability: collating global climate model experiments with sedimentary charcoal data*. Int. J. Wildland Fire 19: 1127–1139.
- Birks, H.J.B. et A.D. Gordon, 1985. *Numerical methods in Quaternary pollen analysis*. Academic Press inc. Londres (Royaume-Uni). 317 p.
- Blarquez, O., C. Carcaillet, T. Frejaville et Y. Bergeron, 2014. *Disentangling the trajectories of alpha, beta and gamma plant diversity of North American boreal ecoregions since 15,500 years*. Front. Ecol. Evol. 2: doi:10.3389/fevo.2014.00006.
- 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. doi: 10.1038/srep13356.
- Blouin, J. et J.-P. Berger, 2002. *Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 5a — Plaine de l'Abitibi*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. 180 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-5a.pdf>]
- 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 Nestaocono, 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>]
- Blouin, J. et J.-P. Berger, 2005. *Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 6a — Plaine du lac Matagami et 6b — Plaine de la baie de Rupert*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. 188 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-6ab.pdf>]

- Blouin, J., J.-P. Berger, Y. Landry et J.-P. Saucier, 2008 (seconde édition). *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 5b — Coteaux du réservoir Gouin, 5c — Collines du haut Saint-Maurice et 5d — Collines ceinturant le lac Saint-Jean*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers. 214 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-5bcd.pdf>]
- 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>]
- Bremond, L., C. Carcaillet, C. Favier, A.A. Ali, C. Paire, Y. Bégin, Y. Bergeron et P.J.H. Richard, 2010. *Effects of vegetation zones and climatic changes on fire-induced atmospheric carbon emissions: a model based on paleodata*. Int. J. Wildland Fire 19: 1015–1025.
- Bryson, R.A., 1966. *Air masses, streamlines, and the boreal forest*. Geogr. Bull. 8: 228–269.
- Bryson, R.A. et F.K. Hare, 1974. *The climates of North America*. Dans : Bryson, R.A. et F.K. Hare (éds.). *Climates of North America*. World survey of climatology, Vol. 11. Elsevier. New York, NY (États-Unis). p. 1–47.
- Calinski, T. et J. Harabasz, 1974. *A dendrite method for cluster analysis*. Commun. Stat. 3: 1–27.
- Carcaillet, C. et P.J.H. Richard, 2000. *Holocene changes in seasonal precipitation highlighted by fire incidence in eastern Canada*. Clim. Dynam. 16: 549–559.
- Carcaillet, C., Y. Bergeron, P.J.H. Richard, B. Fréchette, S. Gauthier et Y.T. Prairie, 2001. *Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forests during the Holocene: does vegetation composition or climate trigger the fire regime?* J. Ecol. 89: 930–946.
- Carcaillet, C., P.J.H. Richard, Y. Bergeron, B. Fréchette et A.A. Ali, 2010. *Resilience of the boreal forest in response to Holocene fire-frequency changes assessed by pollen diversity and population dynamics*. Int. J. Wildland Fire 19: 1026–1039.
- Casgrain, P. et P. Legendre, 2001. *The R package for multivariate and spatial analysis, version 4.0—User's Manual*. Université de Montréal, Département de sciences biologiques. [<http://adn.biol.umontreal.ca/~numerica/ecology/old/R/v4/index.html>]
- Dansereau, P., 1953. *The post-glacial pine period*. Roy. Soc. Canada Trans., ser. 3, 47, sect. 5: 23–38.
- Davis, M.B., 1963. *On the theory of pollen analysis*. Amer. J. Sci. 261: 897–912.
- Davis, M.B. et M.S. Ford, 1982. *Sediment focusing in Mirror Lake, New Hampshire*. Limnol. Oceanogr. 27: 137–150.
- Davis, M.B., C. Douglas, R. Calcote, K.L. Cole, M. Green Winkler et R. Flakne, 2000. *Holocene climate in the western Great Lakes national parks and lakeshores: Implications for future climate change*. Conserv. Biol. 14: 968–983.
- Dombroskie, S., M. McKendy, C. Ruelland, W. Richards, C.P.-A. Bourque et F.-R. Meng, 2010. *Assessing impact of projected future climate on tree species growth and yield: development of an evaluation strategy*. Mitigation Adapt. Strateg. Glob. Chang. 15: 307–320.
- Dyke, A.S., 2005. *Late Quaternary vegetation history of northern North America based on pollen, macrofossil and faunal remains*. Géogr. Phys. Quat. 59: 211–262.
- Environment Canada, 2011. *Canadian climate normals*. [http://climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals]
- Environnement Canada, 2013. *Courant-jet : visite d'un bureau météo*. Gouvernement du Canada. Mise à jour : 10 juillet 2013. [<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/meteo-a-oeil/visite-bureau-meteo/courant-jet.html>].
- Fedorova, I.T., Y.A. Volkova et D.L. Varlyguin, 1997. *World Vegetation Cover Map*. Dans : *Global Ecosystems Database Disc-B*. NOAA National Geophysical Data Center. HTML publication on CD-ROM. Boulder, CO (États-Unis). [http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/4295854/FID2125/datasets/fvv/fvv.htm#report1]
- 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.

- 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: 242–255.
- Fréchette, B., A. de Vernal, J. Guiot, A.P. Wolfe, G.H. Miller, B. Fredskild, M.W. Kerwin et P.J.H. Richard, 2008a. *Methodological basis for quantitative reconstruction of air temperature and sunshine from pollen assemblages in Arctic Canada and Greenland*. Quat. Sci. Rev. 27: 1197–1216.
- Fréchette, B., A. de Vernal et P.J.H. Richard, 2008b. *Holocene and Last Interglacial cloudiness in eastern Baffin Island, Arctic Canada*. Can. J. Earth Sci. 45: 1221–1234.
- Gagen, M., E. Zorita, D. McCarroll, G.H.F. Young, H. Grudd, R. Jalkanen, N.J. Loader, I. Robertson et A. Kirchhefer, 2011. *Cloud response to summer temperatures in Fennoscandia over the last thousand years*. Geophys. Res. Lett. 38: L05701. doi:10.1029/2010GL046216.
- Gajewski, K., S. Payette et J.C. Ritchie, 1993. *Holocene vegetation history at the boreal-forest shrub-tundra transition in north-western Quebec*. J. Ecol. 81: 433–443.
- Garralla, S. et K. Gajewski, 1992. *Holocene vegetation history of the boreal forest near Chibougamau, central Quebec*. Can. J. Bot. 70: 1364–1368.
- 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.
- Genries, A., W. Finsinger, H. Asnong, Y. Bergeron, C. Carcaillet, M. Garneau, C. Hély et A.A. Ali, 2012. *Local versus regional processes: can soil characteristics overcome climate and fire regimes by modifying vegetation trajectories?* J. Quat. Sci. 27: 745–756.
- Girardin, M.P., A.A. Ali, C. Carcaillet, O. Blarquez, C. Hély, A. Terrier, A. Genries et Y. Bergeron, 2013. *Vegetation limits the impact of a warm climate on boreal wildfires*. New Phytol. 199:1000–1011. doi: 10.1111/nph. 12322.
- Grandtner, M.M., 1966. *La végétation forestière du Québec méridional*. Presses de l'Université Laval. Québec, QC. 216 p.
- Goodman, M.M., 1972. *Distance analysis in biology*. Syst. Zool. 21: 174–186.
- 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: 13–35.
- 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>]
- Janssen, C.R., 1973. *Local and regional pollen deposition*. Dans : Birks, H.J.B. et R.G. West (éds). *Quaternary Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford (Royaume-Uni). p. 31–42.
- Krzanowski, W.J., 1971. *A comparison of some distance measures applicable to multinomial data, using a rotational fit technique*. Biometrics 27: 1062–1068.
- Küchler, A.W., 1964. *Potential natural vegetation of the conterminous United States*. American Geographical Society. Special Publication n° 36 (carte).
- Lafontaine-Boyer, K. et K. Gajewski, 2014. *Vegetation dynamics in relation to late Holocene climate variability and disturbance, Outaouais, Québec, Canada*. Holocene 24: 1515–1526.
- Lavoie, M., S. Pellerin et M. Larocque, 2013. *Examining the role of allogeneous and autogeneious factors in the long-term dynamics of a temperate headwater peatland (southern Québec, Canada)*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 386: 336–348.
- Lecomte, N. et Y. Bergeron, 2005. *Successional pathways on different surficial deposits in the coniferous boreal forest of the Quebec Clay Belt*. Can. J. For. Res. 35: 1984–1995.
- Lecomte, N., M. Simard et Y. Bergeron, 2006. *Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada*. Ecoscience 13: 152–163.
- Legendre, P. et L. Legendre, 1998. *Numerical ecology*. 2nd 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: 541-550.
- Liu, K.-B., 1982. *Postglacial vegetational history of northern Ontario: a palynological study*. Dissertation, University of Toronto, School of Graduate Studies. Toronto, ON. 352 p.
- Liu, K.-B., 1990. *Holocene paleoecology of the boreal forest and Great Lakes-St. Lawrence forest in northern Ontario*. Ecol. Monogr. 60: 179-212.
- Marcoux, N. et P.J.H. Richard, 1993. *A new look at Betula pollen curves*. INQUA - Commission for the Study of the Holocene. Working Group on Data Handling Methods. Newsletter n° 10, Juillet 1993. p. 6-8.
- Marcoux, N. et P.J.H. Richard, 1995. *Végétation et fluctuations climatiques postglaciaires sur la côte septentrionale gaspésienne, Québec*. Can. J. Earth Sci. 32: 79-96.
- McAndrews, J.H., 1981. *Late Quaternary climate of Ontario: Temperature trends from fossil pollen records*. Dans : Mahaney, W.C. (éd.). *Quaternary paleoclimate*. GeoAbstracts. Norwich, (Royaume-Uni). p. 319-333,
- Montero-Serrano, J.C., V. Bout-Roumazielles, T. Sionneau, N. Tribovillard, A. Bory, B.P. Flower, A. Riboulleau, P. Martinez et I. Billy, 2010. *Changes in precipitation regimes over North America during the Holocene as recorded by mineralogy and geochemistry of Gulf of Mexico sediments*. Glob. Planet. Chang. 74: 132-143.
- Mott, R.J., 1978. *Populus in Late Pleistocene pollen spectra*. Can. J. Bot. 56: 1021-1031.
- [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://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-limite-nordique-forets.jsp>]
- Muller, S.D., P.J.H. Richard, J. Guiot, J.-L. de Beaulieu et D. Fortin, 2003. *Postglacial climate in the St. Lawrence lowlands, southern Québec: pollen and lake-level evidence*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 193: 51-72.
- 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.
- O'Brien, S.R., P.A. Mayewski, L.D. Meeker, D.A. Meese, M.S. Twickler et S.L. Whitlow, 1995. *Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core*. Science 270: 1962-1964.
- 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: 675-683.
- 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: 87-108.
- Paquette, N. et K. Gajewski, 2013. *Climatic change causes abrupt changes in forest composition, inferred from a high-resolution pollen record, southwestern Quebec, Canada*. Quat. Sci. Rev. 75: 169-180.
- Payette, S., 1992. *Fire as a controlling process in the North American boreal forest*. Dans : Shugart, H.H., R. Leemans et G.B. Bonan (éds). *A systems analysis of the global boreal forest*. Cambridge University Press. Cambridge (Royaume-Uni). p. 145-169.
- Prentice, I.C., W. Cramer, S.P. Harrison, R. Leemans, R.A. Monserud et A.M. Solomon, 1992. *A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate*. J. Biogeogr. 19: 117-134.
- Régnière, J. et R. Saint-Amant, 2004. *BioSIM 8.0 - User's Manual*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Québec, QC. 84 p.
- Reimer, P.J., M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, P.G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C.E. Buck, G. Burr, R.L. Edwards, M. Friedrich, P.M. Grootes, T.P. Guilderson, I. Hajdas, T.J. Heaton, A.G. Hogg, K.A. Hughen, K.F. Kaiser, B. Kromer, F.G. McCormac, S.W. Manning, R.W. Reimer, D.A. Richards, J. Southon, S. Talamo, C.S.M. Turney, J. van der Plicht et C. Weyhenmeyer, 2009. *IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP*. Radiocarbon 51: 1111-1150.
- 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.

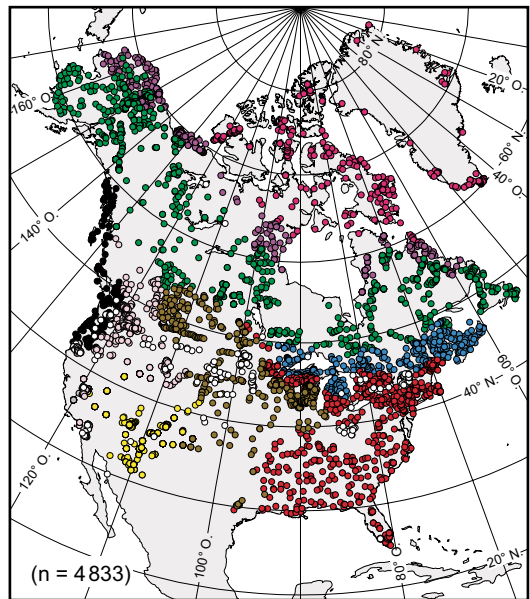
- Richard, P.J.H., 1976. *Relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique au Québec*. Nat. Can. (Que.) 103: 53–66.
- Richard, P.J.H., 1977. *Histoire post-wisconsinienne de la végétation au Québec méridional par l'analyse pollinique*. Gouvernement du Québec, ministère des Terres et Forêts, 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., 1979. *Contribution à l'histoire post-glaciaire de la végétation au nord-est de la Jamésie, Nouveau-Québec*. Géogr. Phys. Quat. 33: 93–112.
- Richard, P.J.H., 1980a. *Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec*. Géogr. Phys. Quat. 34: 77–94.
- Richard, P.J.H., 1980b. *L'interprétation du diagramme pollinique en termes de végétation au Québec : une approche d'inspiration sigmatiste*. Phytocoenologia 7: 127–141.
- 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 post-glaciaire de la forêt mixte au Québec*. Rev. Palaeobot. Palynol. 79: 31–68.
- Richard, P.J.H., 1995. *Le couvert végétal du Québec-Labrador il y a 6 000 ans BP: un essai*. Géogr. Phys. Quat. 49: 117–140.
- Richard, P.J.H., 2003. *Histoire postglaciaire de la végétation et du milieu en Outaouais. Le point et les pistes de recherche*. Dans : Clermont, N., C. Chapdelaine et J. Cinq-Mars (éds). *L'Île aux Allumettes. L'Archaique supérieur dans l'Outaouais*. Recherches amérindiennes au Québec. Collection Paléo-Québec n° 30. p. 47–80.
- Richard, P.J.H., 2007. *Le paysage tardiglaciaire du « Grand Méganticois » : état des connaissances*. Dans : Chapdelaine, C. (éd.). *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 post-glaciaire de la végétation*. Dans : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (éds). *Manuel de Foresterie*, 2^e édition. Éditions MultiMondes. Québec, QC. p. 170–176.
- Richard, P.J.H. et A.C. Larouche, 1989. *La végétation postglaciaire du Témiscamingue, Québec, durant l'épisode glaciolacustre Barlow*. Can. J. Bot. 67: 544–558.
- Richard, P.J.H., A.C. Larouche et M.A. Bouchard, 1982. *Âge de la déglaciation finale et histoire postglaciaire de la végétation dans la partie centrale du Nouveau-Québec*. Géogr. Phys. Quat. 36: 63–90.
- Richard, P.J.H., J.J. Veillette et A.C. Larouche, 1989. *Palynostratigraphie et chronologie du retrait glaciaire au Témiscamingue : évaluation des âges 14C et implications paléoenvironnementales*. Can. J. Earth Sci. 26: 627–641.
- Ritchie, J.C., 1987. *Postglacial vegetation of Canada*. Cambridge University Press. Cambridge, (Royaume-Uni). 178 p.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier, 1998. *Les paysages régionaux du Québec méridional*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la gestion des stocks forestiers et Direction des relations publiques. Les publications du Québec. Québec, QC. 214 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 (éds). *Manuel de Foresterie*, 2^e édition. Éditions MultiMondes. Québec, QC. p. 165–316.
- 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: 209–220.
- Terasmae, J. et T.W. Anderson, 1970. *Hypsithermal range extension of white pine (Pinus strobus L.) in Québec, Canada*. Can. J. Earth Sci. 7: 406–413.
- Terrier, A., M.P. Girardin, A. Cantin, W.J. de Groot, K.A. Anyomi, S. Gauthier et Y. Bergeron, 2014. *Disturbance legacies and paludification mediate the ecological impact of an intensifying wildfire regime in the Clay Belt boreal forest of eastern North America*. J. Veg. Science 26: 588–602.

- Viau, A.E. et K. Gajewski, 2009. *Reconstructing millennial-scale, regional paleoclimates of boreal Canada during the Holocene*. J. Clim. 22: 316–330.
- Vincent, J.S., 1973. *A palynological study for the little clay belt, northwestern Québec*. Nat. Can. (Que.) 100: 59–70.
- Walker, M.J.C., M. Berkelhammer, S. Björck, L.C. Cwynar, D.A. Fisher, A.J. Long, J.J. Lowe, R.M. Newnham, S.O. Rasmussen et H. Weiss, 2012. *Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a discussion paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy)*. J. Quat. Sci. 27: 649–659.
- Webb, T., III et R.A. Bryson, 1972. *Late and post-glacial climatic change in the northern Midwest, USA: Quantitative estimates derived from fossil pollen spectra by multivariate statistical analysis*. Quat. Res. 2: 70–115.
- Webb, T., III, Y. Yeracaris et P. Richard, 1978. *Mapped patterns in sediment samples of modern pollen from southeastern Canada and Northeastern United States*. Géogr. Phys. Quat. 32: 163–176.
- Webb T., III, P.J.H. Richard et R.J. Mott, 1983. *A mapped history of Holocene vegetation in southern Québec*. Syllogeus 49: 273–336.
- Webb, T., III, P.J. Bartlein, S.P. Harrison et K.H. Anderson, 1993. *Vegetation, lake-levels, and climate in eastern North America since 12 000 yr BP*. Dans : Wright, H.E., J.E. Kutzbach, T. Webb III, W.F. Ruddiman, F.A. Street-Perrott et P.J. Bartlein (éds). *Global climates since the Last Glacial Maximum*. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN (États-Unis). p. 415–467.
- 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.
- Willard, D.A., C.E. Bernhardt, D.A. Korejwo et S.R. Meyers, 2005. *Impact of millennial scale Holocene climate variability on eastern North American terrestrial ecosystems: pollen-based climatic reconstruction*. Global Planet. Change 47: 17–35.
- 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: 669–687.
- Williams, J.W., T. Webb III, P.J.H. Richard et P. Newby, 2000. *Late Quaternary biomes of Canada and the eastern United States*. J. Biogeogr. 27: 585–607.
- Williams, J.W., B. Shuman et P.J. Bartlein, 2009. *Rapid responses of the prairie-forest ecotone to early Holocene aridity in mid-continental North America*. Global Planet. Change 66: 195–207.
- Williams, J.W., B. Shuman, P.J. Bartlein, N.S. Diffenbaugh et T. Webb III, 2010. *Rapid, time-transgressive, and variable responses to early Holocene midcontinental drying in North America*. Geology 38: 135–138.

Annexes

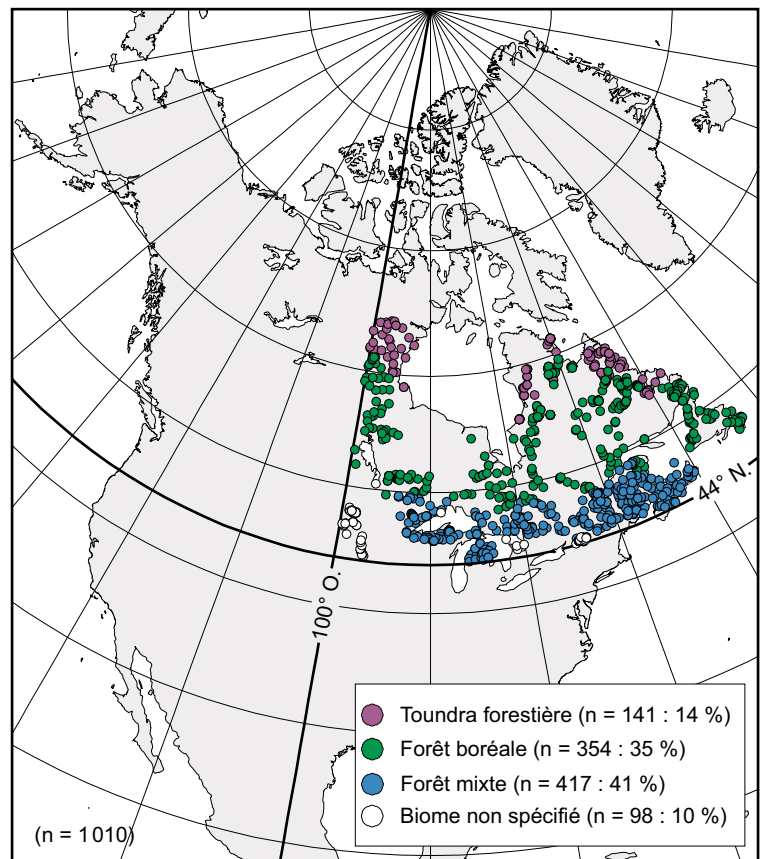
Annexe 1. Cartes de la répartition des sites modernes : a) base de données modernes complète; b) base de données modernes à l'étude. Les 4833 sites de la base de données modernes complète sont répartis à travers l'Amérique du Nord et le Groenland (Whitmore *et al.* 2005). Les 1010 sites de la base de données modernes à l'étude sont tous à l'est de la longitude 100° O. Ils sont essentiellement dans l'est du Canada, mais certains se trouvent aux États-Unis (bande de latitude 44°–45° N.).

a) Sites de l'Amérique du Nord et du Groenland



- | | |
|----------------------|------------------------------|
| ● Arctique | ● Désert |
| ● Toundra forestière | ● Végétation de montagne |
| ● Forêt boréale | ● Végétation côtière |
| ● Forêt mixte | ● Végétation méditerranéenne |
| ● Forêt décidue | ● Biome non spécifié |
| ● Prairies | |

b) Sites de l'est du Canada utilisés dans la présente étude



Annexe 2. Information sur le choix des sites et des taxons de la base de données modernes de l'est du Canada.

Le texte ci-dessous offre des précisions sur le choix des sites et des taxons inclus dans la base de données modernes de l'est du Canada. Il complète la section 3.1.1 du texte principal.

Choix des 1010 sites

La base de données modernes utilisée dans ce travail est constituée des 1010 sites à l'est de la longitude 100 °O et au nord de la latitude 44 °N. parmi les 4833 sites de la mégabase de données de Whitmore *et al.* (2005) (voir la figure 9). Les sites à l'ouest de la longitude 100° O ont été exclus, car ils risquaient de fausser la reconstitution du climat postglaciaire des 26 sites du territoire d'étude. Williams et Shuman (2008) ont montré que la relation entre le pollen et le climat est différente entre l'est et l'ouest de l'Amérique du Nord, de part et d'autre de la longitude 100°O. L'assemblage pollinique d'un site de l'est peut être comparable à celui d'un site de l'ouest, et ce, malgré des climats différents, surtout en raison de l'abondance du pollen de *Pinus* et d'autres genres conifériens dont les espèces ne sont généralement pas distinguées. Par conséquent, nous avons jugé préférable de ne considérer que les sites de la portion est du territoire. Parmi les 1010 sites de notre base de données modernes, 417 proviennent de la forêt mixte, 354 de la forêt boréale et 141 de la toundra forestière (annexe 4). Le biome n'est pas spécifié pour 98 sites dans la base de données, même si ceux-ci se trouvent à l'intérieur des limites géographiques retenues. Les 1010 assemblages polliniques modernes proviennent majoritairement de sédiments lacustres (Lacs : 620 sites), de coussinets de mousses terricoles (Mousse : 114 sites), de la sphaigne en surface des tourbières (Tourbière : 109 sites) et de milieux terrestres (Dépôts meubles [sol, etc.]: 5 sites). Le milieu de dépôt n'est pas spécifié pour 162 sites.

Choix des 52 taxons

La mégabase de données modernes de Whitmore *et al.* (2005) comporte 134 taxons sporopolliniques (grains de pollen et spores de ptéridophytes, de mousses et de plantes aquatiques confondus, annexe 3b). Williams et Shuman (2008) ont isolé ceux à retenir dans le cadre d'études paléoclimatiques. Leur liste comprend 63 taxons (annexe 3c), dont plusieurs sont groupés au niveau du genre ou même de la famille. Elle comprend également les spores de lycopodes, de fougères et de sphaignes, que nous avons cependant exclues de notre base de données, parce que plusieurs d'entre elles sont identifiées sous le nom «spores monolètes» ou encore «spores trilètes», des catégories qui englobent plusieurs genres. La liste de Williams et Shuman (2008) comporte également un palynotaxon nommé «minor forbs» qui inclut les Apiaceae, *Eriogonum*, les Euphorbiaceae et les Malvaceae. Nous avons scindé ce groupe et considéré ces taxons individuellement.

Parmi les 63 taxons suggérés par Williams et Shuman (2008), plusieurs sont absents des 1010 sites modernes de la forêt mixte, de la forêt boréale et de la toundra forestière de notre région d'étude (*p. ex. Arceuthobium* et *Dryas*). Par ailleurs, nous croyons que certains taxons observés sporadiquement à travers les trois biomes à l'étude et exclus de cette liste méritent un peu

d'attention : il s'agit des Elaeagnaceae (*Shepherdia*), des Caprifoliaceae (*Sambucus*, *Viburnum*, *Diervilla*, *Lonicera*), des Rhamnaceae, des Anacardiaceae (*Rhus*), de *Taxus* et de *Cornus*. Nous avons ajouté ces taxons à la liste de Williams et Shuman (2008) après avoir pris en considération leur présence parmi tous les assemblages des 26 sites postglaciaires à l'étude ainsi que parmi les assemblages des 1010 sites modernes. Finalement, nous n'avons pas ajouté les Anacardiaceae et *Cornus*, car ils sont quasi absents des sites postglaciaires et de ceux de la base de données modernes. Par contre, les Caprifoliaceae, les Elaeagnaceae, les Rhamnaceae, *Taxus* et *Thalictrum* ont été ajoutés.

Dans la liste des 63 taxons de Williams et Shuman (2008), quatre *Pinus* sont distingués :

- *Pinus diploxylon* (*p. ex. Pinus banksiana* et *P. resinosa*, principalement);
- *Pinus haploxylon* (*p.ex. Pinus strobus*, principalement);
- *Pinus undifferentiated*;
- *Pinus Southeast*.

Le taxon *Pinus Southeast* est absent des 1010 sites de notre base de données modernes, parmi lesquels seulement 4 sites n'ont répertorié aucun grain de *Pinus*. Selon Williams et Shuman (2008), les 4 taxons de *Pinus* (diploxylon, haploxylon, undifferentiated et Southeast) doivent être conservés dans le cadre d'une reconstitution climatique basée sur la méthode des analogues modernes. Cette stratégie est toutefois inappropriée à la présente recherche, du fait que, pour près de 450 sites de notre base de données modernes ($n = 1010$), seul le taxon *Pinus undifferentiated* est répertorié et aucun *Pinus diploxylon*, *haploxylon* ou *Southeast* n'est identifié. À l'inverse, dans les sites postglaciaires à l'étude, les grains de *Pinus*, à savoir *Pinus banksiana*, *Pinus strobus* et *Pinus*, ont presque toujours été distingués. Le taxon *Pinus* inclut les fragments des grains de *Pinus* et les grains trop abîmés pour être clairement attribués à une espèce. En fait, seul le site LOUIS n'a qu'un seul taxon pour représenter les pins, soit *Pinus*. Ainsi, pour près de 45 % des sites de la base de données modernes, les grains de *Pinus* observés par les pollenanalystes ont été regroupés, alors que pour nos sites postglaciaires, un tel regroupement n'a été fait que dans 4 % des cas.

Ce contraste dans la précision taxonomique des deux bases de données pose un sérieux problème à la reconstitution climatique basée sur la méthode des analogues modernes (voir la section 3.4.1). En effet, si les quatre *Pinus* sont conservés, la recherche d'assemblages polliniques modernes comparables aux assemblages postglaciaires sera limitée aux sites où les grains de *Pinus* ont été distingués, c'est-à-dire à seulement 55 % des sites de la base de données modernes. De nombreux assemblages polliniques modernes, potentiellement analogues, seront ainsi écartés. Pour notre travail, nous avons donc regroupé les grains de *Pinus* répertoriés dans la base de données modernes et à travers les sites postglaciaires. En somme, la base de données modernes utilisée dans cette recherche comprend 52 taxons (annexe 3d).

Annexe 3. Liste des taxons sporopolliniques de la base de données postglaciaires et de la base de données modernes, et information sur le groupement des taxons. a) Tous les taxons dénombrés aux 26 sites à l'étude (n = 222); 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 = 52). Les taxons dont la cellule est en grisé sont ceux exclus lors des reconstitutions climatiques (figures 19 et 20) et du calcul des assemblages polliniques millénaires (figure 21).

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)		
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupement des taxons (n = 100)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)
Taxons arboréens				
(n = 50)	(n = 25)	(n = 39)	(n = 30)	(n = 21)
<i>Abies</i>				
<i>Abies balsamea</i>	<i>Abies balsamea</i>	<i>Abies</i>	<i>Abies</i>	<i>Abies</i>
<i>Abies balsamea</i> (fragments de)				
<i>Acer</i>		<i>Acer</i> non différenciés		
<i>Acer nigrum</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer pensylvanicum</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>
<i>Acer spicatum</i>		<i>Acer rubrum</i>		
<i>Acer pensylvanicum</i>		<i>Acer saccharinum</i>		
<i>Acer rubrum</i>		<i>Acer saccharum</i>		
<i>Acer saccharinum</i>		<i>Acer negundo</i>		
<i>Acer saccharum</i>				
-				
<i>Carpinus</i> / <i>Ostrya</i>	<i>Carpinus</i> / <i>Ostrya</i>	<i>Ostrya</i> / <i>Carpinus</i>	<i>Ostrya</i> / <i>Carpinus</i>	<i>Carpinus</i> / <i>Ostrya</i>
<i>Carya</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>	<i>Carya</i>
<i>Carya ovata</i>				
<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea</i>	<i>Castanea dentata</i>	<i>Castanea</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>Juniperus</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</i> cf. <i>F. americana</i>	<i>Fraxinus</i> type <i>pennsylvanica</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> / <i>americana</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> / <i>americana</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>
<i>Fraxinus</i> type <i>pennsylvanica</i>				
<i>Juglans</i>	<i>Juglans</i>	<i>Juglans</i> non différenciés	<i>Juglans</i>	<i>Juglans</i>
<i>Juglans cinerea</i>		<i>Juglans cinerea</i>		
<i>Juglans nigra</i>		<i>Juglans nigra</i>		
<i>Larix laricina</i>	<i>Larix laricina</i>	<i>Larix</i> / <i>Pseudotsuga</i>	<i>Larix</i> / <i>Pseudotsuga</i>	<i>Larix</i>
<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liquidambar</i>	<i>Liquidambar</i>	
type <i>Morus rubra</i>				
<i>Morus</i>	<i>Morus</i>	Moraceae		
<i>Picea</i>		<i>Picea</i> non différenciés		
<i>Picea</i> (fragments de)	<i>Picea</i>	<i>Picea glauca</i>	<i>Picea</i>	<i>Picea</i>
<i>Picea</i> cf. <i>P. glauca</i>		<i>Picea mariana</i>		
<i>Picea</i> type <i>glauca</i>				
<i>Picea</i> type <i>mariana</i>				
<i>Pinus</i>		<i>Pinus</i> non différenciés	<i>Pinus</i> non différenciés	
<i>Pinus</i> (fragments de)	<i>Pinus</i>			
<i>Pinus</i> cf. <i>P. banksiana</i>	<i>Pinus</i> cf. <i>P. banksiana</i>	<i>Pinus</i> diploxylon	<i>Pinus</i> diploxylon	<i>Pinus</i>
<i>Pinus</i> cf. <i>P. resinosa</i>				
<i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus</i> haploxylon	<i>Pinus</i> haploxylon	
<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>

Annexe 3. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)		
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupement des taxons (n = 100)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)
<i>Populus</i> <i>Populus</i> cf. <i>P. balsamifera</i> <i>Populus</i> cf. <i>P. deltoides</i> <i>Populus</i> cf. <i>P. grandidentata</i> <i>Populus</i> cf. <i>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 canadensis</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>
		Chrysolepis/Lithocarpus	Chrysolepis/Lithocarpus	
		Nyssa	Nyssa	
		Taxodium	Taxodium	
			<i>Pinus Southeast</i>	
Bouleaux (n = 2)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)
<i>Betula</i> <i>Betula</i> corrodés	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>	<i>Betula</i>
Taxons arbustifs (n = 42)	(n = 16)	(n = 24)	(n = 12)	(n = 12)
<i>Alnus</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Alnus viridis</i>	<i>Alnus</i> type <i>crispa</i>	<i>Alnus</i> non différenciés <i>Alnus crispa</i>	<i>Alnus</i>	<i>Alnus crispa</i>
<i>Alnus</i> type <i>incana</i> -	<i>Alnus</i> type <i>incana</i>	<i>Alnus rugosa</i> <i>Alnus rubra</i>	<i>Alnus rugosa</i> <i>Alnus rubra</i>	<i>Alnus incana</i>
Caprifoliaceae <i>Diervilla lonicera</i> <i>Lonicera</i> <i>Lonicera villosa</i> <i>Viburnum</i> <i>Viburnum alnifolium</i> <i>Viburnum cassinoides</i> <i>Viburnum edule</i> <i>Viburnum lentago</i> <i>Sambucus</i>	Caprifoliaceae <i>Sambucus</i>	Caprifoliaceae		Caprifoliaceae
<i>Cornus</i> <i>Cornus alternifolia</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>	
Elaeagnaceae <i>Elaeagnus commutata</i> <i>Shepherdia canadensis</i>	Elaeagnaceae	Elaeagnaceae <i>Shepherdia canadensis</i>		Elaeagnaceae
<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>	<i>Ephedra</i>
Ericaceae - <i>Vaccinium</i> <i>Impatiens</i> (Balsaminaceae - Ericales)	Ericaceae	Ericaceae non différenciés <i>Chamaedaphne/Ledum</i> <i>Vaccinium</i> Ericales non différenciés	Ericaceae	Ericaceae

Annexe 3. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)			
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupement des taxons (n = 100)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)	
<i>Myrica gale</i>	<i>Myrica gale</i>	Myricaceae	Myricaceae	<i>Myrica</i>	
Aquifoliaceae	<i>Nemopanthus / Ilex</i>	Aquifoliaceae	Aquifoliaceae	Aquifoliaceae	
<i>Nemopanthus / Ilex</i>					
<i>Nemopanthus mucronatus</i>					
Rhamnaceae <i>Rhamnus alnifolia</i> / <i>R. frangula</i> <i>Rhamnus cathartica</i> <i>Rhamnus/Vitis</i> Vitaceae <i>Vitis</i> -	<i>Rhamnus/Vitis</i>	Rhamnaceae/Vitaceae		Rhamnaceae/Vitaceae	
	<i>Ceanothus</i>				
<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>	
<i>Taxus canadensis</i>	<i>Taxus canadensis</i>	<i>Taxus</i>		<i>Taxus</i>	
		Anacardiaceae			
		Cactaceae	Cactaceae		
		<i>Larrea</i>	<i>Larrea</i>		
Taxons herbacés (n = 64)		(n = 30)	(n = 58)	(n = 17)	(n = 18)
Herbes non différenciées	Herbes non différenciées				
Liguliflorae	Asteraceae	Asteraceae subf. Cichorioideae	Asteraceae		Tubuliflorae/Liguliflorae
Asteraceae subf. Asteroideae non différenciés Tubuliflorae		Asteraceae non différenciés			
<i>Iva annua</i> -type <i>Iva xanthifolia</i> -type type <i>Ambrosia</i>		<i>Iva</i> <i>Xanthium</i> <i>Ambrosia</i>			
<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>		<i>Artemisia</i>
Apiaceae	Apiaceae	Apiaceae	Voir «Minor forbs»		Apiaceae
<i>Aralia hispida</i>	<i>Aralia hispida</i>				
<i>Arceuthobium pusillum</i> <i>Arceuthobium</i> / <i>Loranthaceae</i>	<i>Arceuthobium</i> / <i>Loranthaceae</i>	<i>Arceuthobium</i>	<i>Arceuthobium</i>		
Brassicaceae	Brassicaceae	Brassicaceae	Brassicaceae		Brassicaceae
Cannabaceae	Cannabaceae				
Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae		Caryophyllaceae
Chenopodiaceae cf. <i>Sarcobatus</i> <i>Sarcobatus vermiculatus</i>	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae/ Amaranthaceae	Chenopodiaceae/ Amaranthaceae		Chenopodiaceae
		<i>Sarcobatus</i>	<i>Sarcobatus</i>		
Cyperaceae	Cyperaceae	Cyperaceae	Cyperaceae		Cyperaceae
<i>Drosera</i>	<i>Drosera</i>				
Onagraceae <i>Epilobium</i>	Onagraceae	Onagraceae			Onagraceae
<i>Glaux maritima</i>	<i>Glaux maritima</i>				
Fabaceae <i>Petalostemum</i> type <i>Oxytropis</i> <i>maydelliana</i> -	Fabaceae	Fabaceae			Fabaceae
		<i>Amorpha</i>			

Annexe 3. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)		
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupe des taxons (n = 100)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)
Lamiaceae type <i>Mentha</i>	Lamiaceae	Lamiaceae		
Liliaceae	Liliaceae	Liliaceae		
<i>Plantago</i>	<i>Plantago</i>	Plantaginaceae	Plantaginaceae	Plantaginaceae
Poaceae	Poaceae	Poaceae	Poaceae	Poaceae
Polygonaceae <i>Polygonum</i> <i>Polygonum</i> type <i>lapathifolium</i> <i>Polypodium virginianum</i> <i>Polygonum viviparum</i> -	<i>Polygonum</i>	Polygonaceae		
		<i>Polygonum</i> non différenciés		
		<i>Polygonum viviparum</i>		
		<i>Polygonum bistortoides</i>		
type <i>Oxyria digyna</i> cf. <i>Oxyria digyna</i> <i>Oxyria digyna</i> cf. <i>Rumex acetosella</i> <i>Rumex</i> type <i>Rumex</i>	<i>Oxyria/Rumex</i>	<i>Rumex/Oxyria</i>	<i>Oxyria</i>	<i>Oxyria/Rumex</i>
		<i>Oxyria</i>		
		<i>Rumex</i>		
<i>Koenigia islandica</i>	<i>Koenigia islandica</i>	<i>Koenigia islandica</i>		
Ranunculaceae <i>Caltha</i> type <i>Caltha</i>	Ranunculaceae	Ranunculaceae		Ranunculaceae
<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Thalictrum</i>
Rubiaceae <i>Galium</i> -	Rubiaceae	Rubiaceae		Rubiaceae
		<i>Cephalanthus</i>		
Rosaceae <i>Prunus pensylvanica</i> <i>Prunus serotina</i> cf. <i>Prunus serotina</i> <i>Prunus</i> <i>Rubus chamaemorus</i> type <i>Potentilla palustris</i> - -	Rosaceae	Rosaceae	Rosaceae	Rosaceae
		<i>Rubus</i> <i>Potentilla</i> <i>Cercocarpus</i> <i>Sanguisorba</i>		
Saxifragaceae <i>Ribes</i> <i>Saxifraga</i> <i>Saxifraga</i> type <i>oppositifolia</i> - - -	Saxifragaceae	<i>Saxifragaceae</i> non différenciés	<i>Saxifraga</i>	Saxifragaceae
		<i>Saxifraga oppositifolia</i>		
		<i>Saxifraga cernua</i>		
		<i>Saxifraga hieracifolia</i> <i>Saxifraga tricuspidata</i>		
type <i>Campanula</i>	type <i>Campanula</i>	Campanulaceae		
Urticaceae type <i>Urtica</i> type <i>Urtica dioica</i>	type <i>Urtica</i>	Urticaceae		
		Arecaceae		
		<i>Armeria</i>		
		Boraginaceae		
		<i>Dodecatheon</i>		

Annexe 3. (suite)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)		
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupement des taxons (n = 100)	b) Whitmore et al. (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)
		Euphorbiaceae	«Minor forbs» + Apiaceae	
		Malvaceae		
		Eriogonum		
		Magnoliaceae		
		Liriodendron		
		Papaveraceae	Papaveraceae	
		Polemoniaceae		
		Prosopis	Prosopis	
		Scrophulariaceae		
		Pedicularis		

Taxons aquatiques (n = 21)		(n = 13)	(n = 1)	(n = 0)	(n = 0)
Brasenia schreberi	Brasenia schreberi				
cf. Callitriche	cf. Callitriche				
Eriocaulon	Eriocaulon				
Hippuris	Hippuris				
Isoetes	Isoetes				
Menyanthes trifoliata	Menyanthes trifoliata				
Myriophyllum	Myriophyllum				
Myriophyllum alterniflorum					
Myriophyllum exalbeszens					
Nuphar		Nuphar			
Nymphaea	Nymphaea				
Potamogeton	Potamogeton/Triglochin				
Potamogeton/Triglochin					
Potamogetonaceae					
Sagittaria	Sagittaria				
Sparganium	Typha/Sparganium				
Typha angustifolia					
Typha latifolia					
Typha/Sparganium					
Selaginella	Selaginella	Selaginella			
Selaginella selaginoides					
Algues (n = 8)		(n = 1)	(n = 0)	(n = 0)	(n = 0)
Pediastrum	Pediastrum				
Pediastrum angulosum					
Pediastrum boryanum					
Pediastrum boryanum var. integrum					
Pediastrum boryanum var. longicorne					
Pediastrum duplex					
Pediastrum kawraiskyi					
Pediastrum tetras					
Mousses (n = 1)		(n = 1)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 0)
Sphagnum	Sphagnum	Sphagnum	Sphagnum		
Ptéridophytes (n = 34)		(n = 13)	(n = 10)	(n = 2)	(n = 0)
Botrychium	Botrychium	Botrychium			
Equisetum	Equisetum	Equisetum			

Annexe 3. (suite et fin)

Taxons de la base de données postglaciaires (n = 26 sites)		Taxons de la base de données modernes (n = 1 010 sites)		
a) Tous les taxons (n = 222)	Groupe des taxons (n = 100)	b) Whitmore <i>et al.</i> (2005) (n = 134)	c) Williams et Shuman (2008) (n = 63)	d) Synthèse actuelle (n = 52)
type <i>Lycopodium</i> <i>Lycopodiaceae</i> non différenciés <i>Diphasiastrum</i> <i>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>Huperzia</i> type <i>selago</i> <i>Huperzia lucidula</i> <i>Lycopodium obscurum</i> <i>Lycopodium</i> type <i>obscurum</i>	<i>Lycopodium</i>	<i>Lycopodium</i> non différenciés <i>Lycopodium</i> <i>complanatum</i> <i>Lycopodium annotinum</i> <i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodium</i>	
<i>Huperzia</i> type <i>selago</i> <i>Huperzia lucidula</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>	<i>Osmundaceae</i>		
<i>Pteridium</i> <i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Pteridium</i>	<i>Pteridium</i>	<i>Pteridium</i>	
Spores monolètes <i>Polypodiaceae</i>	Spores monolètes	<i>Polypodiaceae</i>		
<i>Cystopteris</i>	<i>Cystopteris</i>			
type <i>Woodsia</i>	type <i>Woodsia</i>			
type <i>Dryopteris</i> <i>Dryopteris</i> <i>Dryopteris thelypteris</i>	type <i>Dryopteris</i>			
<i>Athyrium</i> <i>Athyrium filix-femina</i>	<i>Athyrium</i>			
Spores trilètes Spores alètes Spore balle de golf	autres spores			

Annexe 4. Cheminement de la technique de groupement *K*-means appliquée aux 1010 assemblages polliniques de la base de données modernes, caractéristiques des différents groupes, et climat moyen et végétation estimée des 15 groupes d'assemblages polliniques. La carte de la répartition géographique de ces 15 groupes est présentée à la figure 9c.

K-means	1 010 sites (C - H = 333)*																							
Étape 1	Groupe A (C - H = 125)								Groupe B (C - H = 151)															
Étape 2	Aa (C - H = 114)				Ab (C - H = 39)				Ba (C - H = 9)				Bb (C - H = 45)					Bc (C - H = 51)						
Étape 3	Aa1 (C - H = 20)		Aa2 (C - H = 45)		Ab1		Ab2		Ba1		Ba2		Bb1		Bb2		Bb3		Bb4		Bc1		Bc2	
Étape 4	Aa1a	Aa1b	Aa2a	Aa2b	Aa2c																			
nombre de sites (n)	42	66	69	75	41	141	57	19	13	90	28	112	39	100	118									
Milieu de dépôt (n) [†]																								
Lac	26	35	60	61	19	100	8	19	13	35	2	84	36	70	52									
Tourbière	4	6	4	11	6	10	9	0	0	5	9	2	0	8	35									
Mousse	2	7	5	2	10	17	40	0	0	2	13	0	0	2	14									
Dépôts meubles	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4									
non spécifié	10	18	0	1	6	13	0	0	0	48	4	26	3	20	13									
Biome (n) [†]																								
Forêt boréale	38	55	58	57	31	55	25	0	0	5	1	0	0	0	29									
Forêt mixte	0	10	0	1	10	5	6	0	0	84	27	54	39	94	87									
Toundra forestière	4	1	11	17	0	81	26	0	0	1	0	0	0	0	0									
non spécifié	0	0	0	0	0	0	0	19	13	0	0	58	0	6	2									
Climat (μ ± σ) [†]																								
Température moyenne annuelle (°C)	-3,6 ± 3,4	-0,8 ± 2,1	-2,9 ± 2,1	-4,7 ± 2,0	1,2 ± 2,4	-5,2 ± 4,3	-3,3 ± 5,9	4,1 ± 0,4	5,7 ± 0,8	3,9 ± 2,3	3,0 ± 2,1	4,6 ± 0,9	4,0 ± 0,7	4,6 ± 1,2	2,1 ± 1,1									
MTWA (°C) [‡]	14,5 ± 1,9	16,7 ± 1,6	12,3 ± 1,5	11,5 ± 1,4	15,4 ± 1,6	10,8 ± 2,6	11,2 ± 4,1	20,8 ± 0,4	22,0 ± 0,6	17,6 ± 1,2	17,8 ± 2,2	18,4 ± 0,9	18,5 ± 0,6	18,8 ± 0,9	17,8 ± 1,0									
MTCO (°C) [‡]	-23,6 ± 4,3	-20,6 ± 3,0	-19,1 ± 4,4	-22,1 ± 3,4	-13,7 ± 4,7	-21,8 ± 6,9	-18,0 ± 8,9	-15,6 ± 0,7	-12,8 ± 1,3	-10,6 ± 4,0	-13,3 ± 1,8	-10,4 ± 1,3	-11,6 ± 1,1	-10,8 ± 2,1	-16,1 ± 2,2									
GDD5 (°-jours) [‡]	779 ± 269	1 091 ± 237	530 ± 169	432 ± 165	977 ± 248	408 ± 330	530 ± 465	1 837 ± 57	2 087 ± 117	1 381 ± 211	1 388 ± 357	1 546 ± 155	1 493 ± 102	1 595 ± 178	1 345 ± 155									
PANN (mm) [‡]	615 ± 208	740 ± 249	931 ± 175	781 ± 136	1 118 ± 180	689 ± 311	774 ± 429	455 ± 10	550 ± 45	1 174 ± 210	1 209 ± 223	1 003 ± 100	1 075 ± 83	843 ± 116	823 ± 177									
SJJA (%) [‡]	47,0 ± 3,3	50,7 ± 3,7	37,8 ± 2,9	37,5 ± 1,6	44,2 ± 4,3	38,8 ± 4,3	39,2 ± 4,7	66,2 ± 2,0	70,8 ± 1,9	48,7 ± 2,6	48,5 ± 2,8	54,7 ± 3,3	48,5 ± 0,8	60,2 ± 3,6	53,7 ± 3,7									

Végétation [§]	Forêt boréale et Toundra forestière										Forêt mixte						
Étape 1	Forêt boréale					Toundra forestière					Forêt mixte Est						
Étape 2																	
Étape 3	Forêt boréale Ouest		Forêt boréale Est			TF-forestière	TF-arbustive	Prairies	Prairies	SBj	SBb/SBj	ET	EBj	Forêt mixte Ouest			
Étape 4	PL/PM	PM/SBb	PM	PL	PM/SBb									SBj/EBj	SBb/SBj	agriculture + PM	

* $C-H = [R-carré / (K-I)] / [(I-R-carré) / (n-K)]$ est la statistique pseudo-F de Calinski-Harabasz (1974), soit la meilleure partition en K groupes, au sens des moindres carrés.

[†] L'information sur le milieu de dépôt, le biome et le climat est tirée de la base de données de Whitmore et al. (2005), disponible au lien internet suivant : <http://www.lpc.uottawa.ca/data/modern/index.html>. Pour quelques sites, le milieu de dépôt et le biome ne sont pas spécifiés dans la base de données.

[‡] MTWA : température moyenne du mois le plus chaud; MTCO : température moyenne du mois le plus froid; GDD5 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5° C; PANN : précipitations annuelles totales; SJJA : ensoleillement estival.

[§] La végétation a été estimée en comparant la répartition des groupes *K*-means à des cartes de végétation (voir la section 3.1.3). Les données climatiques moyennes des groupes A, B, Aa, Ab, Ba, Bb et Bc sont présentées à la figure 9b.

^{||} Les végétations correspondant aux codes des 15 groupes d'assemblages polliniques sont décrites à la figure 9c. Les végétations elles-mêmes sont décrites à la section 4.1.1.

Annexe 5. Diagrammes polliniques des 26 sites postglaciaires de l'ouest du Québec et résultat du groupement hiérarchique avec une contrainte de contiguïté (CONISS).

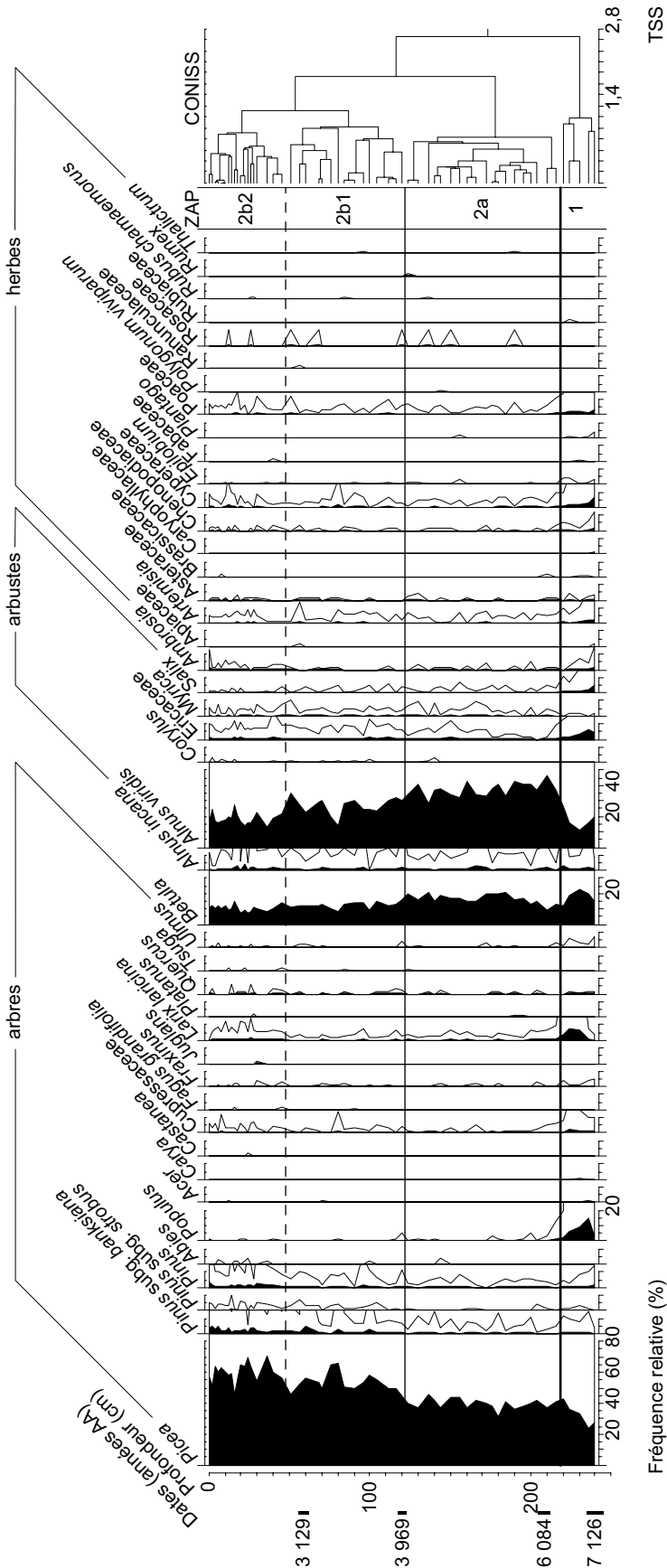
Les sites sont ordonnés selon les domaines bioclimatiques (pessière à lichens [4 sites], pessière à mousses [4 sites], sapinière à bouleau blanc [10 sites] et sapinière à bouleau jaune [4 sites]). Le dendrogramme CONISS est présenté à droite des diagrammes, et les dates au radiocarbone des sédiments, exprimées en années sidérales avant aujourd'hui (AA), sont affichées à gauche. Le résultat est présenté en fonction de la profondeur. L'unité des courbes polliniques est en pourcentage.

Sur les 26 diagrammes polliniques, seuls les pourcentages des taxons arboréens, arbustifs et herbacés sont illustrés. L'acronyme « frg » accompagnant *Picea*, *Pinus* et *Abies balsamea* signifie « fragments de ». La quantité totale de grains de pollen par centimètre cube sédiment ($\text{grains}\cdot\text{cm}^{-3}$), c.-à-d. la concentration pollinique (CP), est présentée à la droite des diagrammes. La CP n'est pas disponible pour les sites GB2, CRATES, SIX et LOUIS.

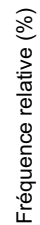
Les traits horizontaux délimitent les zones d'assemblage pollinique (ZAP) indiquées par le dendrogramme. La description des ZAP est livrée à l'annexe 7. L'intensité du groupement, c.-à-d. la valeur de la TSS (valeur sans unité correspondant à la somme des carrés des écarts à la moyenne), est donnée avec 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 sur le dendrogramme. Le dernier regroupement dénote un changement important dans les assemblages polliniques. Il est illustré par un trait gras (1^{er} ordre) et il sépare la séquence en deux groupes. Les groupes 1 et 2 sont subdivisés à leur tour en sous-groupes : p. ex. 1a-1b, 2a-2b-2c. Les limites de ces groupes sont illustrées sur les diagrammes par des traits standards (2^e ordre). Ils marquent des changements importants dans les assemblages polliniques, mais moins prononcés que celui observé entre les groupes 1 et 2. Finalement, les sous-groupes sont parfois divisés de nouveau : p. ex., 1a1-1a2-1b1-1b2-1b3. Ces dernières subdivisions sont illustrées sur les diagrammes par des traits pointillés (3^e ordre). Il s'agit de changements plus subtils dans les assemblages polliniques. Sur les diagrammes, les courbes polliniques non remplies illustrent une exagération des pourcentages (10×).

Annexe 5. (suite)

a) GB2 - Grande Rivière de la Baleine (lac) - 5 ha
55° 06' N., 75° 17' O. - alt. 300 m (PL)
Gajewski et al. (1993)
Source : NEOTOMA

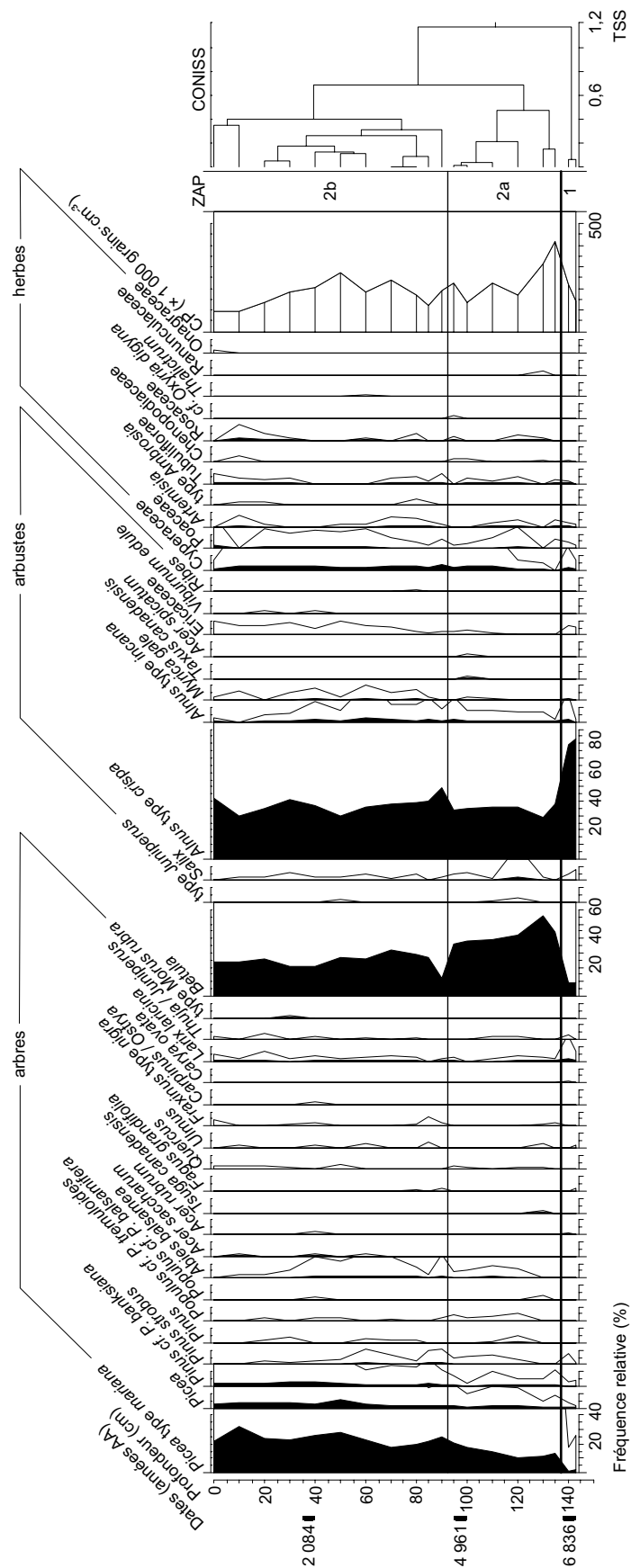


Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



Annexe 5. (suite)

c) BRI2 - Brisy (lac) - 1,0 ha
54° 21' N., 70° 21' O. - alt. 595 m (PL)
Richard *et al.* (1982)
Source: Laboratoire Jacques-Rousseau



116

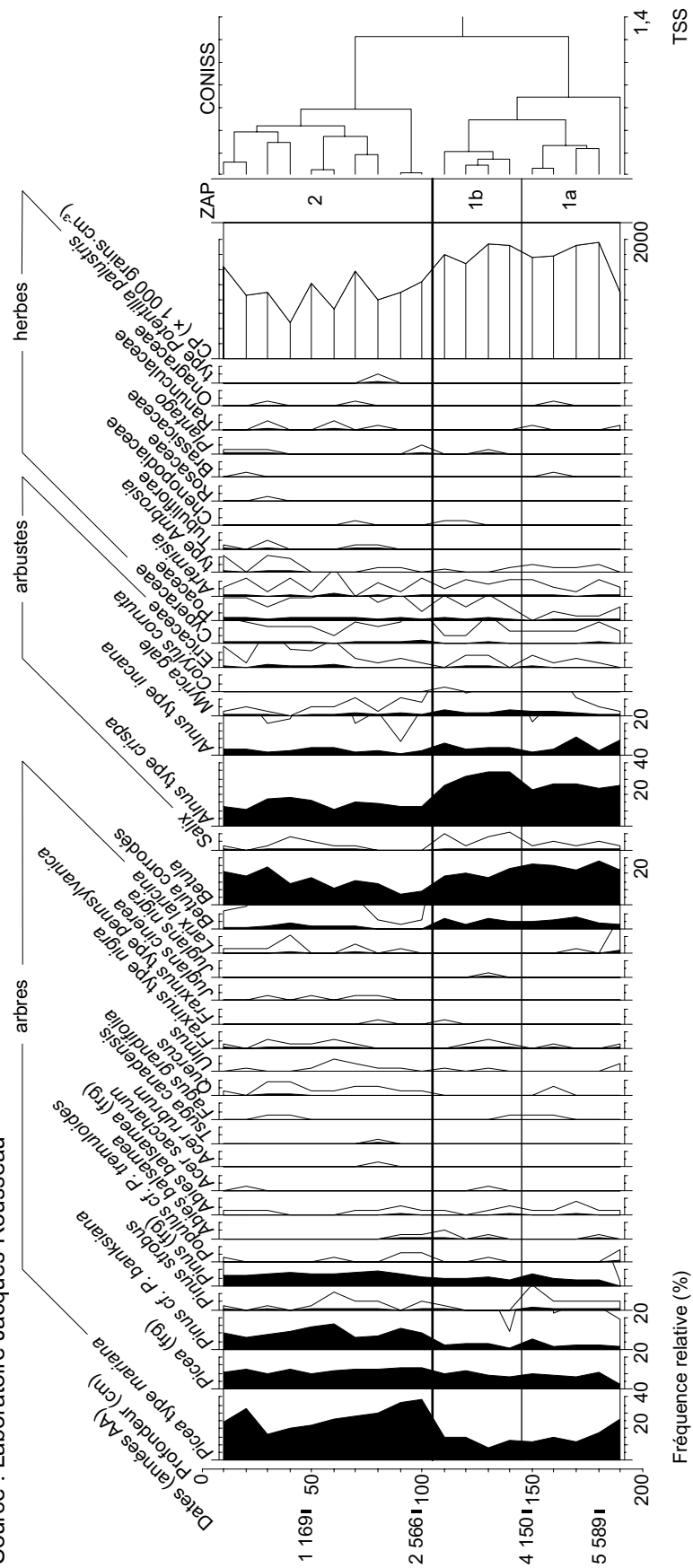


Annexe 5. (suite)

e) LG405 - LG-4-83-05 (lac) - 1,0 ha
54° 04' N., 72° 55' O. - alt. 350 m (PL)

Richard (inédit)

Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

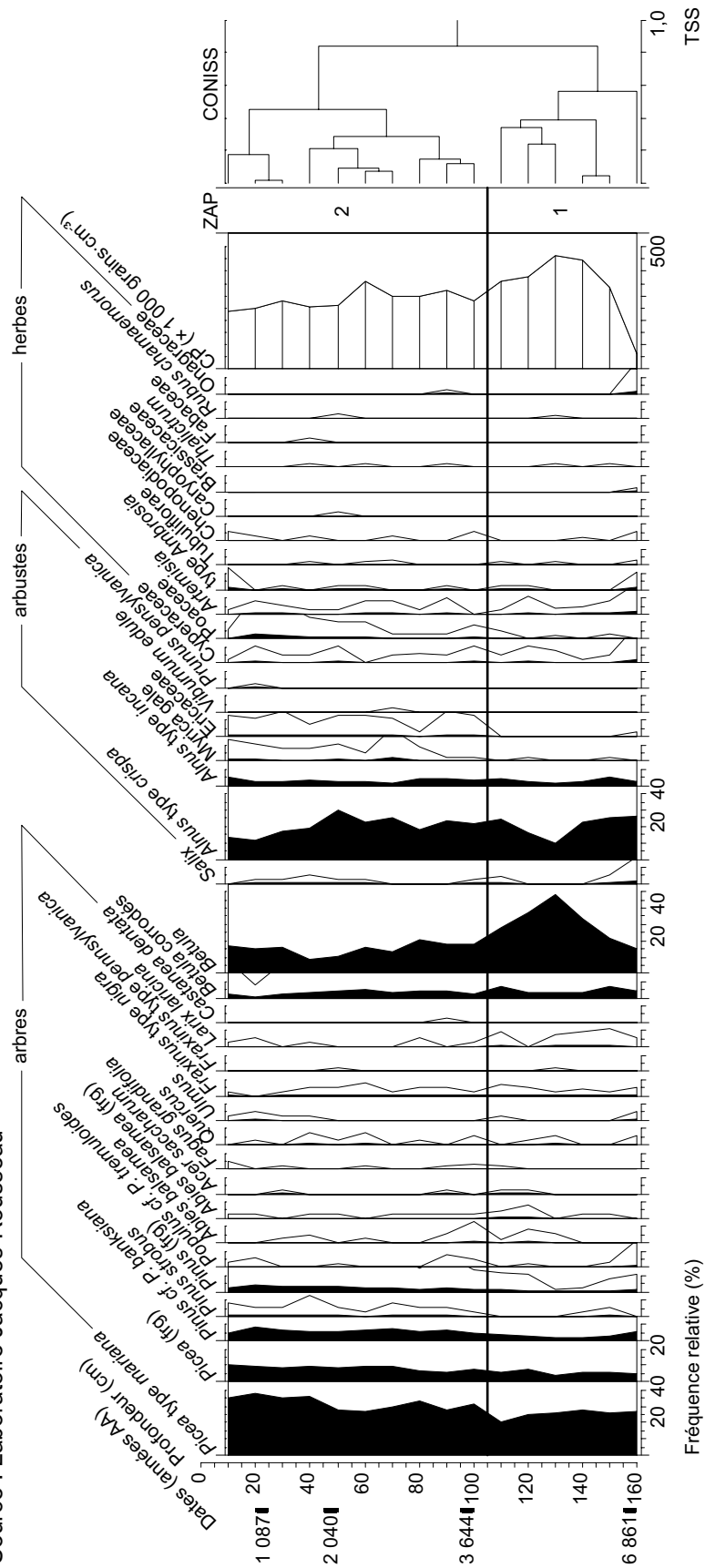


118

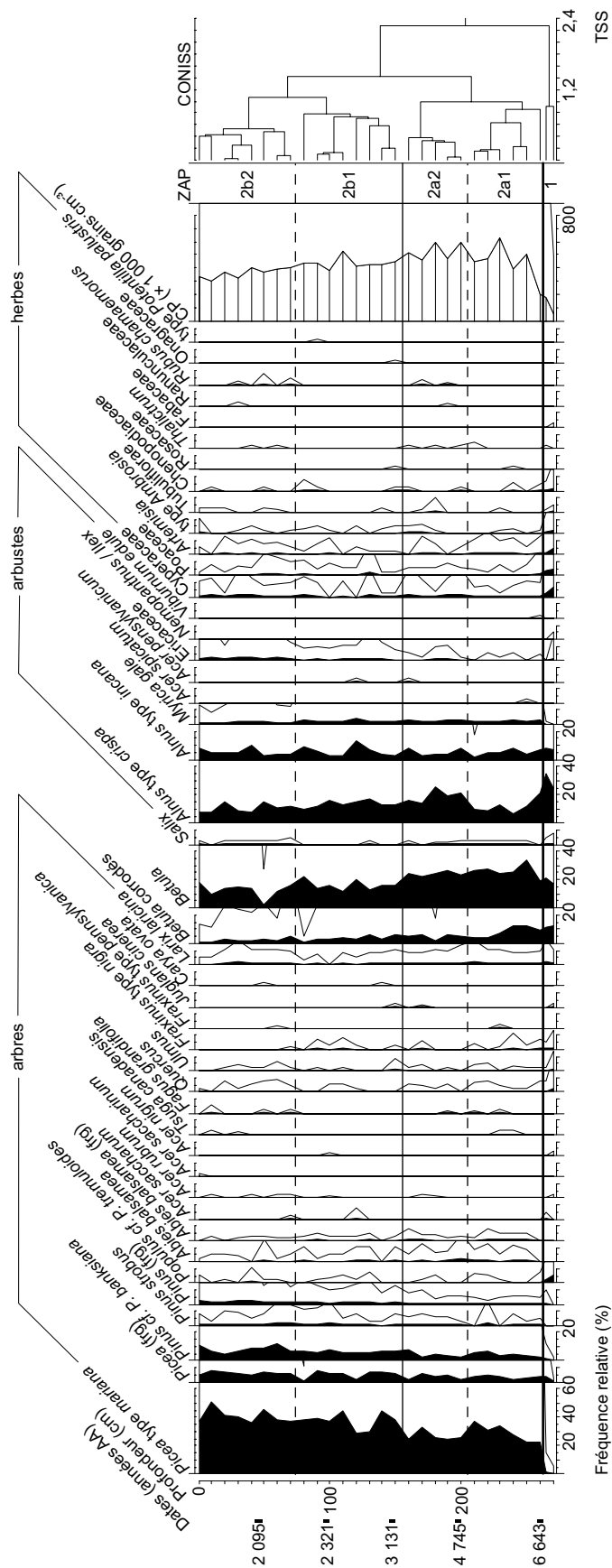


Annexe 5. (suite)

g) LG401P - LG-4-83-01 P (lac) - 3,0 ha
54° 02' N., 72° 52' O. - alt. 470 m (PL)
Richard (inédit)
Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

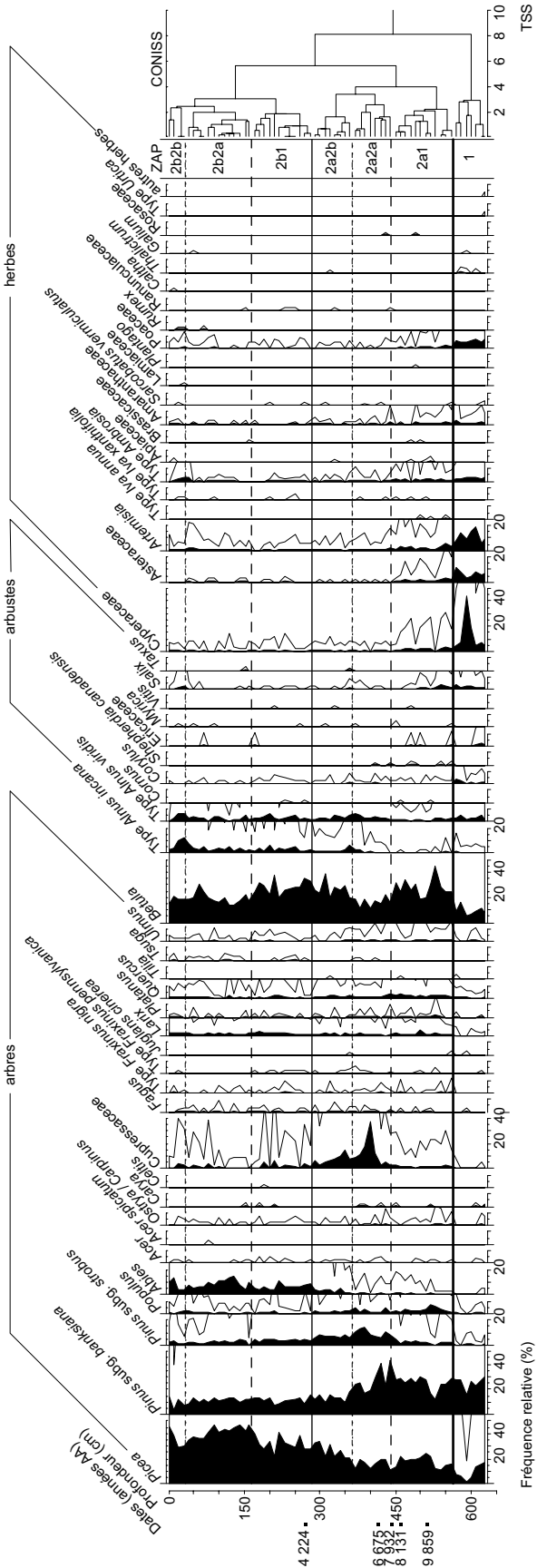


h) LG412 - LG-4-83-12 (lac) - 3,8 ha
 52° 51' N., 73° 18' O. - alt. 534 m (PL)
 Richard (inédit)
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



Annexe 5. (suite)

i) CRATES - Crates Lake - 10 ha
49° 11' N., 81° 16' O. - alt. 259 m (PM secteur Ouest)
Liu (1982)
Source : NEOTOMA

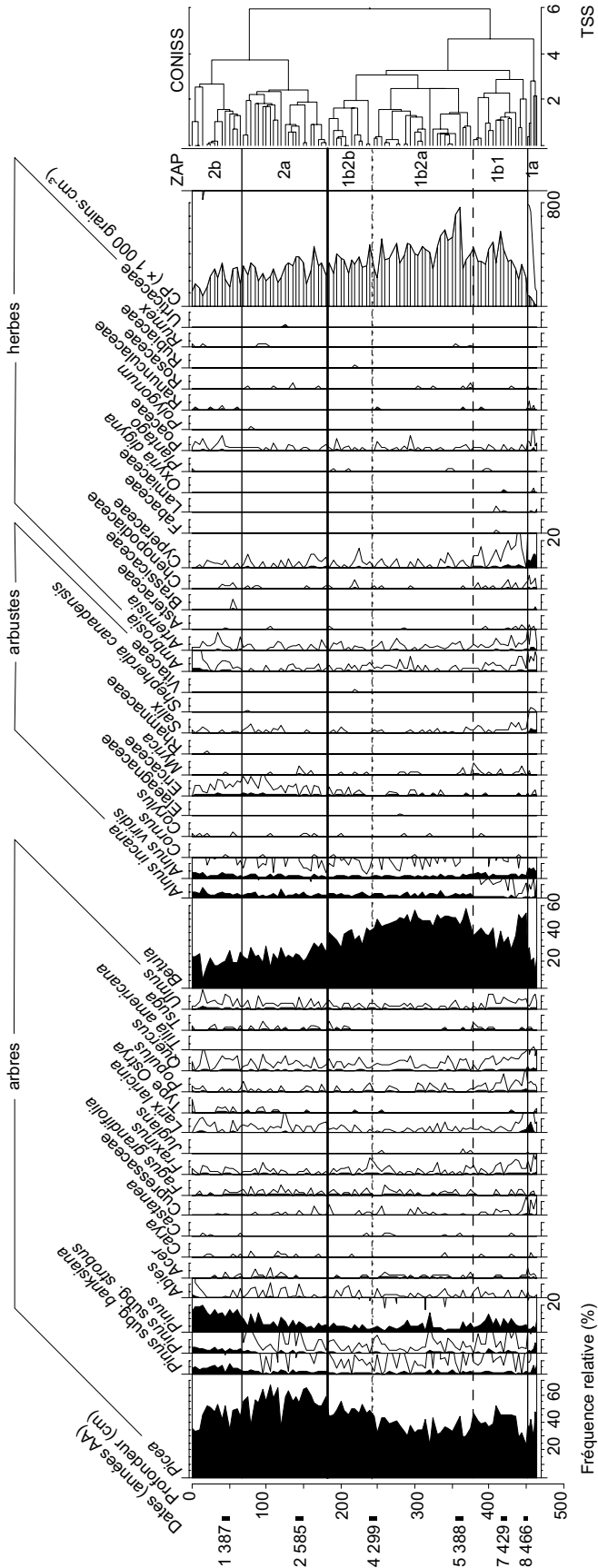


122



Annexe 5. (suite)

k) CH2 - Chapais 2 Lake - 5,0 ha
49° 41' N., 74° 35' O. - alt. 380 m (PM secteur Est)
Garralla et Gajewski (1992)
Source : NEOTOMA

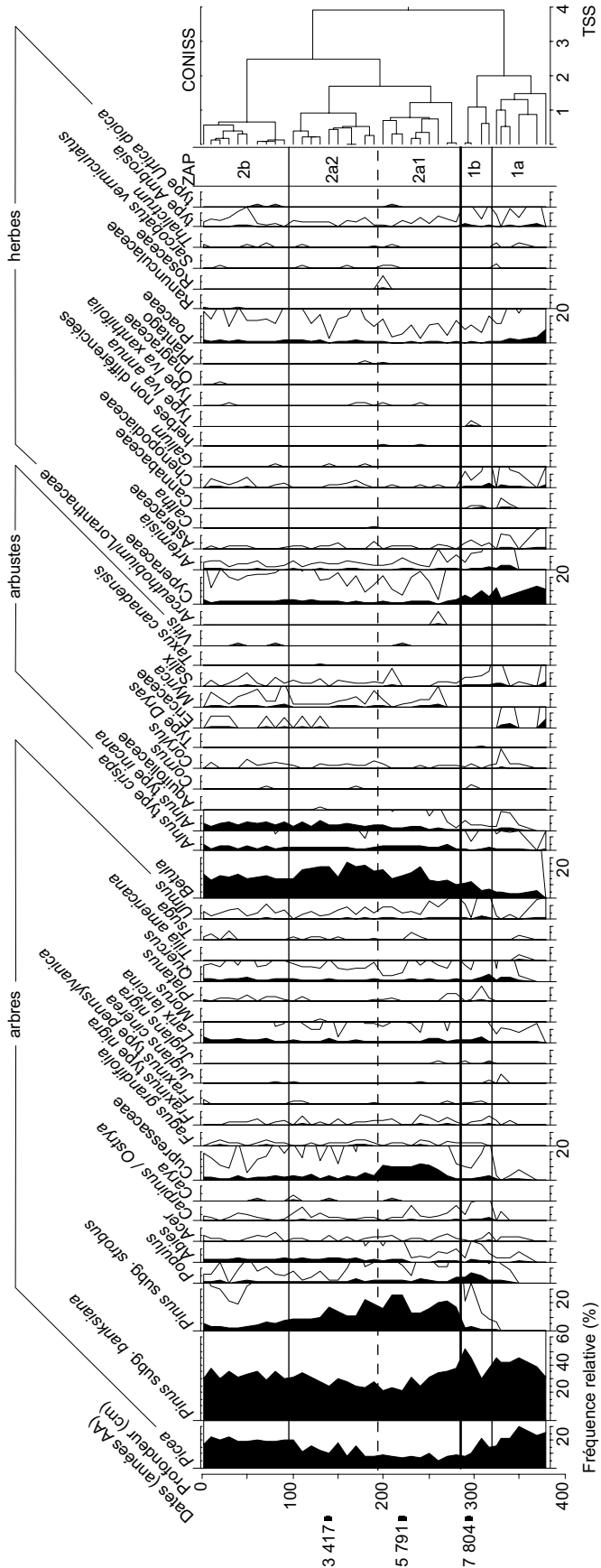


124



Annexe 5. (suite)

m) SIX - Lake Six - 10 ha
48° 24' N., 81° 19' O. - alt. 300 m (SBb secteur Ouest)
Liu (1982) (1990)
Source : NEOTOMA



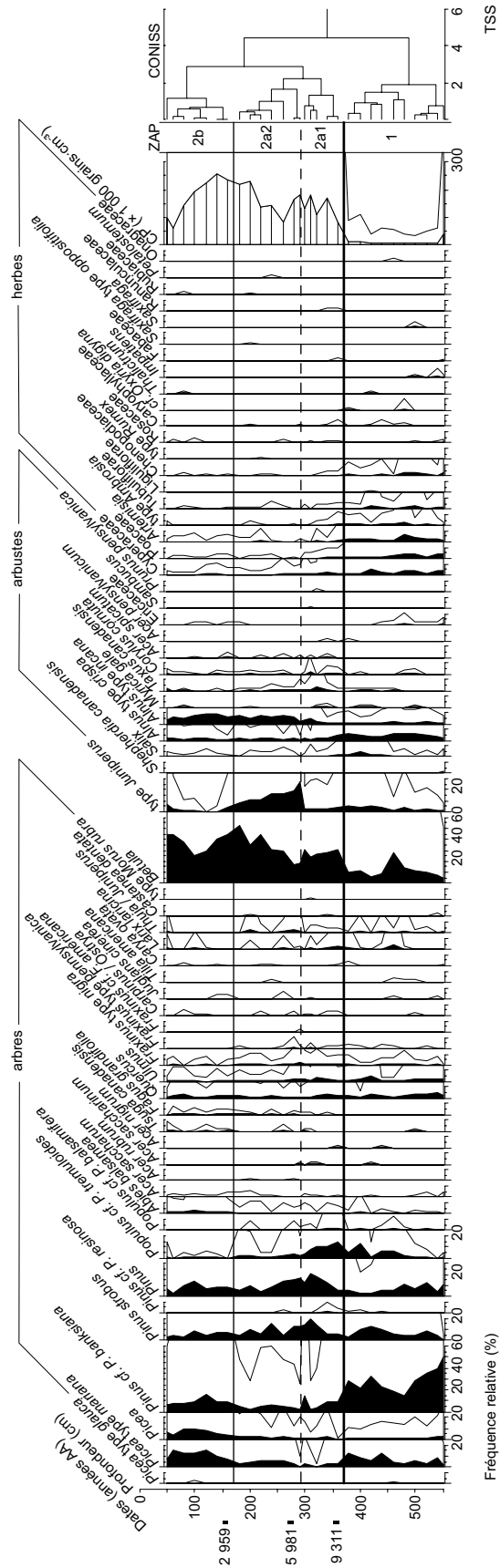
126



Histoire postglaciaire de la végétation et du climat...

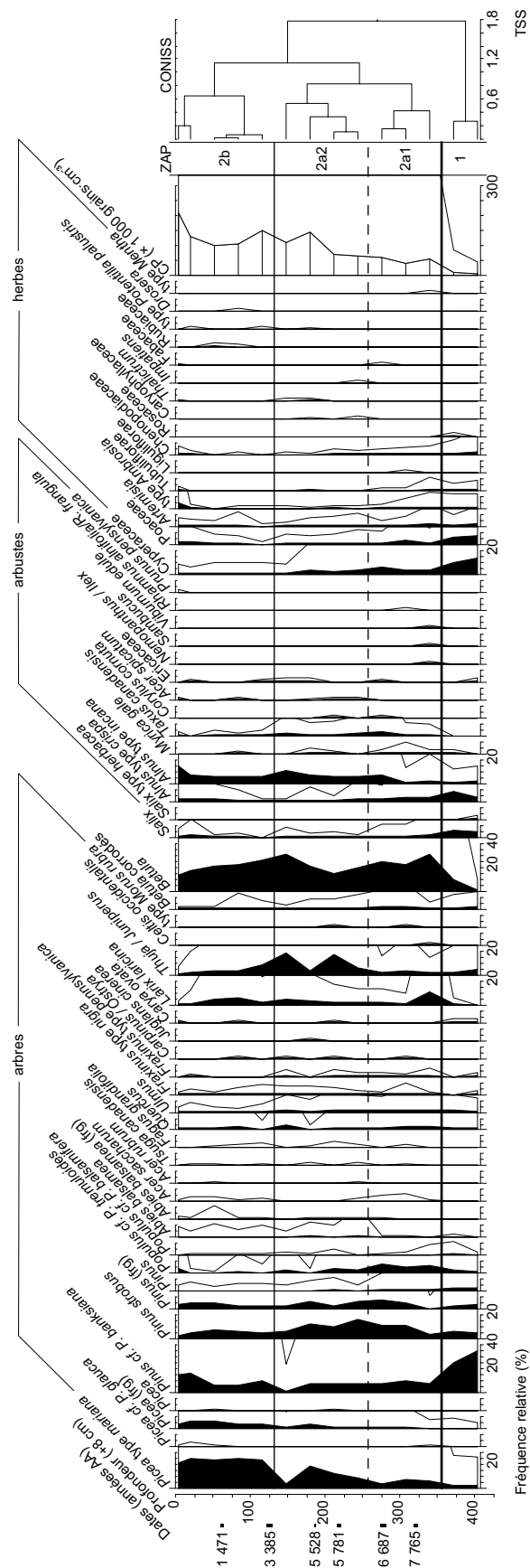


p) CLO - Clo (lac) - 7,0 ha
 48° 30' N., 79° 21' O. - alt. 280 m (SBb secteur Ouest)
 Richard (1980a)
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

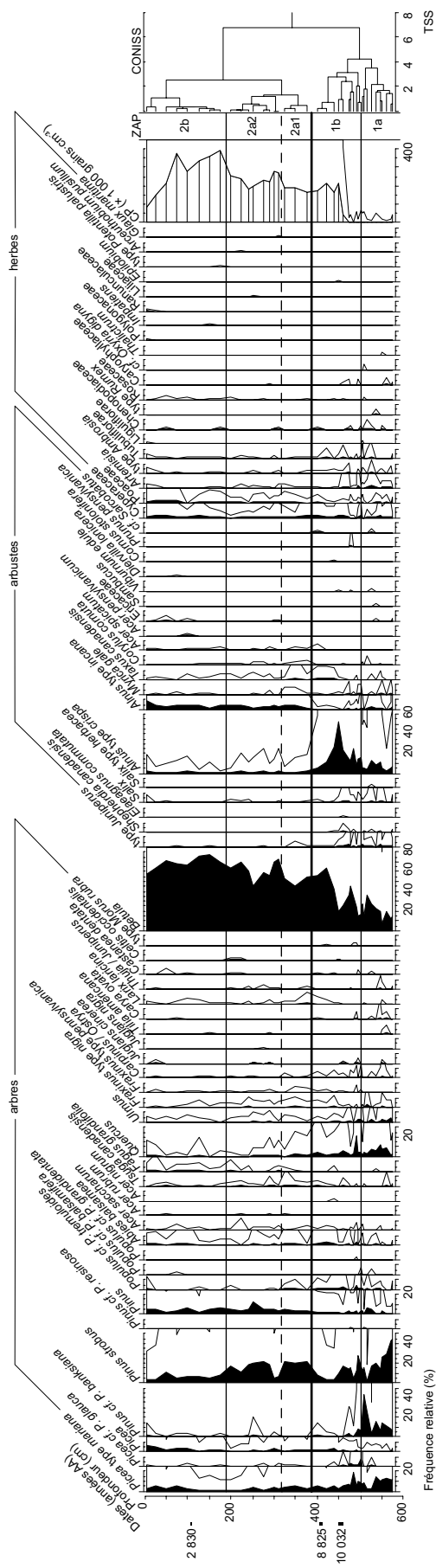


Annexe 5. (suite)

q) PFOND - lac Pas de Fond - 3,0 ha
48° 48' N., 78° 50' O. - alt. 290 m (SBb secteur Ouest)
Carcaillet *et al.* (2001)
Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

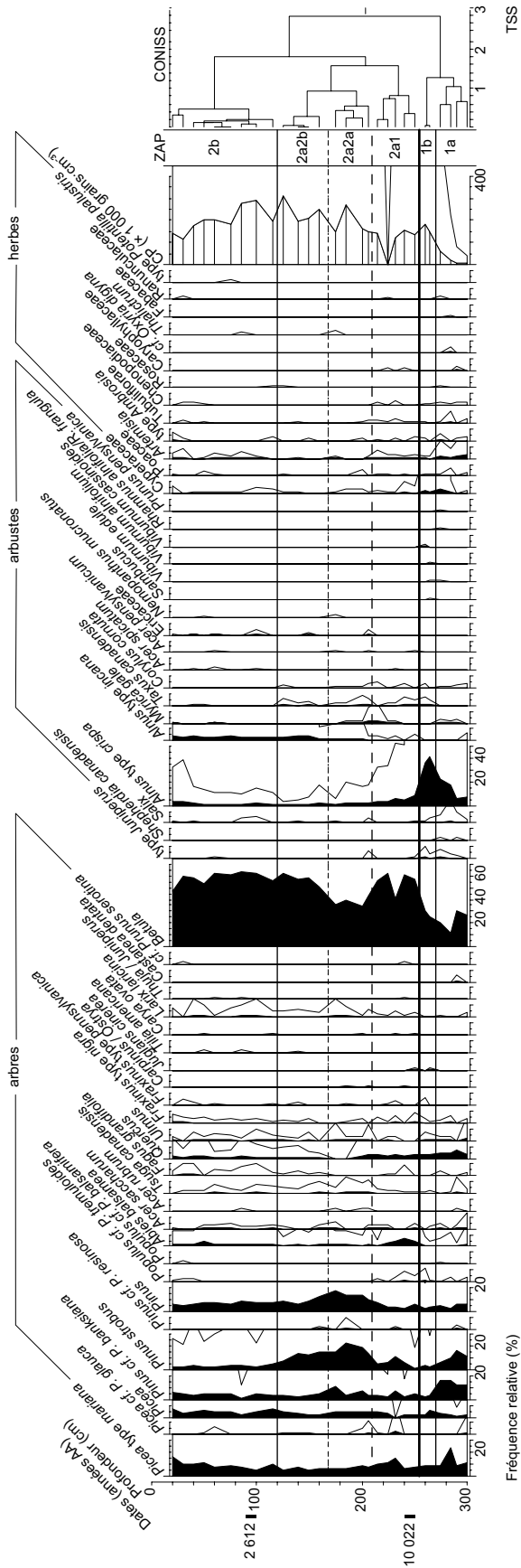


r) SFS - Saint-François de Sales (lac) - 1,0 ha
 48° 18' N., 72° 09' O. - alt. 358 m (SBb secteur Est)
 Richard (1977)
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

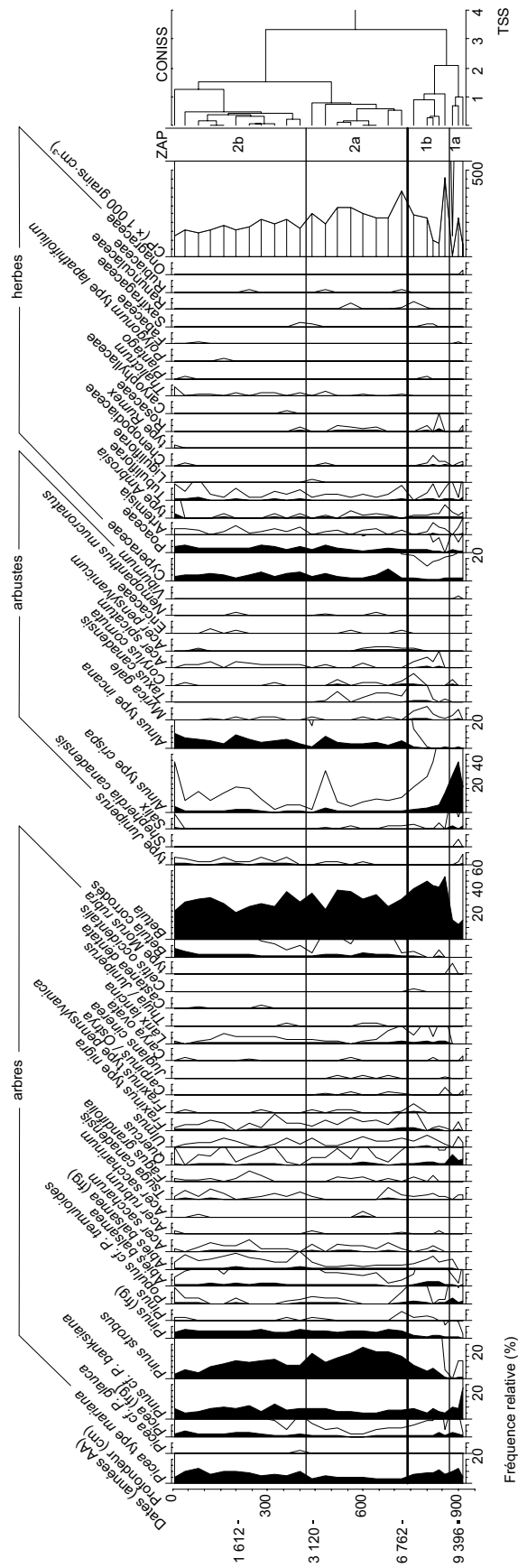


Annexe 5. (suite)

s) PRU - Prudent (lac) - 0,5 ha
48° 18' N., 72° 03' O. - alt. 315 m (SBb secteur Est)
Richard (inédit)
Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

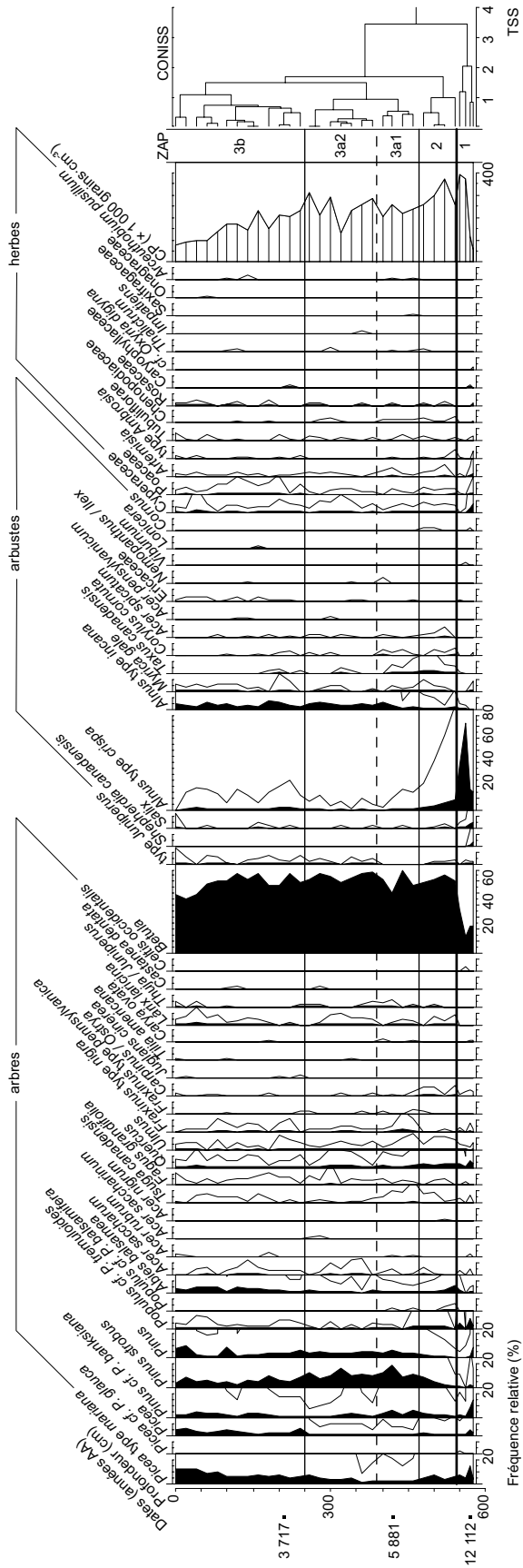


t) COUCH - Couchepaganiche (centre) (lac) - 0,8 ha
 48° 22' N., 71° 51' O. - alt. 191 m (SBb secteur Est)
 Richard (inédit)
 Source : Laboratoire Jacques-Rousseau



Annexe 5. (suite)

u) FLEVY - lac Flévy - 1,5 ha
48° 13' N., 71° 13' O. - alt. 381 m (SBb secteur Est)
Richard (inédit)
Source : Laboratoire Jacques-Rousseau

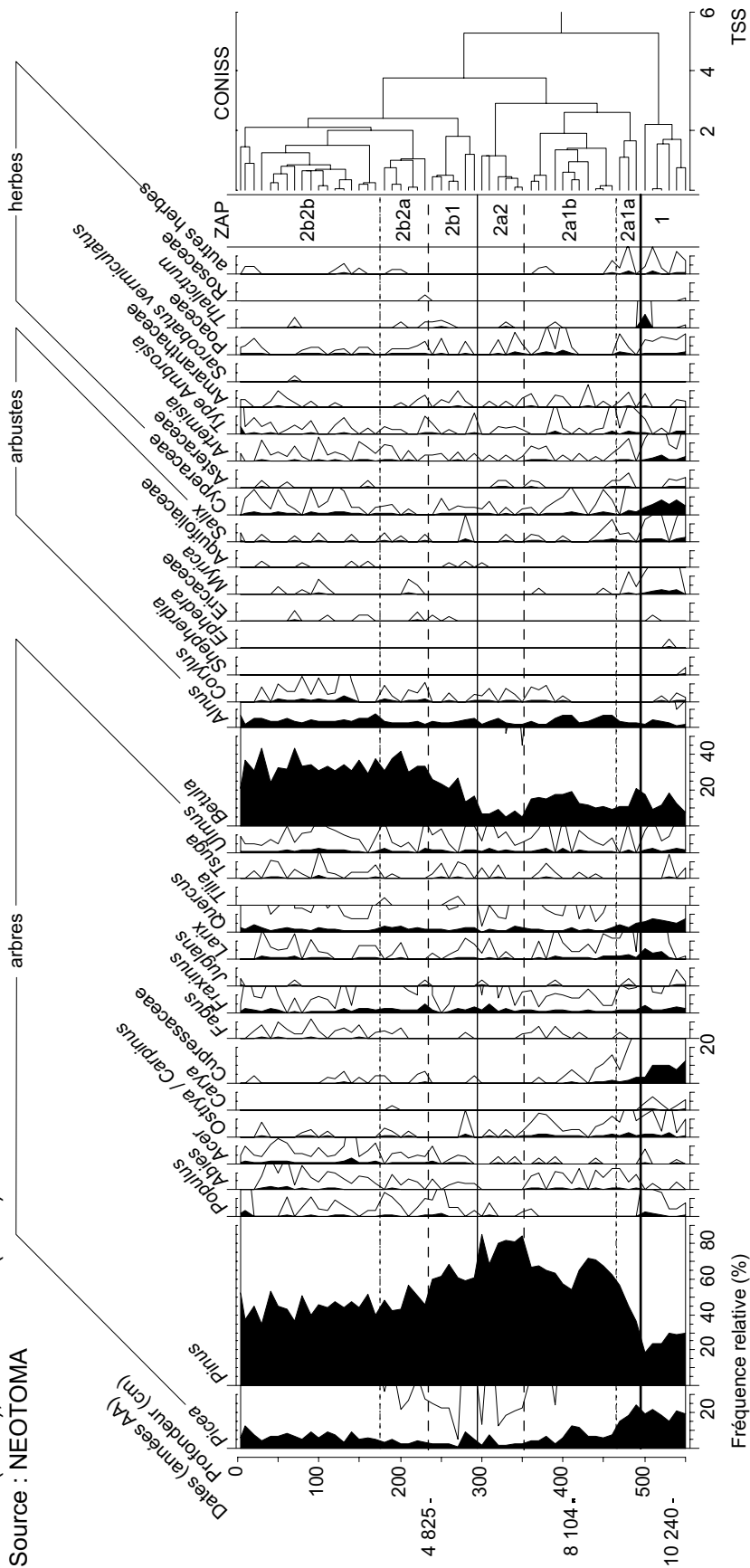


134



Annexe 5. (suite)

w) LOUIS - lac Louis - 6,5 ha
47° 17' N., 79° 07' O. - alt. 300 m (SBj secteur Ouest)
Vincent (1973), McAndrews (1981)
Source : NEOTOMA



136



Histoire postglaciaire de la végétation et du climat...



138



Annexe 6. Dates radiocarbones (¹⁴C) conventionnelles et âges étalonnés des 26 sites à l'étude. Les dates dont la cellule est en grisé n'ont pas été considérées lors de la construction des modèles âge/profondeur (voir le supplément 2).

Domaine bioclimatique	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)	Laboratoire	Matériel*	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal										Âges AA utilisés pour la création des modèles																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
					Date ¹⁴ C (ou ²¹⁰ Pb) AA-1950		Âge Calib 5 (ou 3,0) (AA)				Âge Calib 6,0 (médiane) (AA)				2 sigma (Calib 6,0)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
							Mesuré	Corrigé	Écart	Mesuré	Corrigé	À utiliser	Mesuré	Corrigé			À utiliser																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Moyenne	Épaisseur																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Annexe 6. (suite)

Domaine bioclimatique	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)	Laboratoire	Matériel*	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal						Âges AA utilisés pour la création des modèles					
					Date ¹⁴ C (ou ²¹⁰ Pb)	AA-1950		Âge Calib 5 (ou 3,0)		Âge Calib 6,0 (médiane) (AA)		2 sigma (Calib 6,0)				
						Mesurée	Corrigée	Écart	Mesuré	Corrigé	À utiliser	Mesuré	Corrigé	À utiliser	Minimum	Maximum
Crates (Lake) (CRATES)		271,5	1	s. o.	s. o.	3820		60		4224		4082	4415			
		415,0	1	s. o.	s. o.	5860		90		6675		6453	6891			
		443,0	1	s. o.	s. o.	7110		100		7932		7728	8077			
		460,0	1	s. o.	s. o.	7310		130		8131		7930	8383			
		513,0	1	s. o.	s. o.	8800		110		9859		9559	10166			
Pessière (lac à la) (PESS)		533,5	1	s. o.	s. o.	5890		90		6713		6492	6936			
		108,0	5	BETA-133466	gyttja laminée	1510	90		1380	1414	1279	1574				
		200,0	5	BETA-133465	gyttja laminée	2500	80		2580	2569	2362	2742				
		323,0	5	BETA-133464	gyttja laminée	3410	60		3660	3664	3554	3892				
		422,0	5	BETA-133463	gyttja laminée	4580	70		5300	5256	5038	5470				
Pessière à mousses (PM)		520,0	5	BETA-133461	gyttja laminée	6010	70		6840	6855	6670	7016				
		571,0	5	BETA-133462	gyttja carbonatée	7500	90		8340	8306	8156	8458				
		578,0	5	TO-8305	macrofossiles	6720	80		7580	7585	7438	7688				
	Chapais 2 (Lake) (CH2)		45,0	10	BETA-34704	séd. vac	1480	90	1360	1360	1387	1256	1566			
			145,0	10	BETA-33968	séd. vac	2530	90	2620	2620	2585	2356	2764			
		245,0	10	BETA-33969	séd. vac	3880	100	4330	4330	4299	3984	4537				
		360,0	10	BETA-33970	séd. vac	4660	100	5400	5400	5388	5212	5593				
		419,0	8	BETA-35352	séd. vac	6520	100	7430	7430	7429	7257	7583				
Desautels (DES)		449,0	6	BETA-31538	séd. vac	7660	100	8430	8430	8466	8290	8643				
		62,5	5	BETA-13763	séd. vac	1410	85	1310	1280	1264	1067	1405				
		182,5	5	BETA-13764	séd. vac	2500	95	2580	2420	2503	2309	2746				
		412,5	5	BETA-13765	séd. vac	4470	85	5190	4920	4993	4832	5147				
		492,5	5	BETA-13766	séd. vac	6620	150	7510	7460	7464	7167	7699				
Sapinière à bouleau blanc (SBb)		553,5	7	BETA-13767	séd. vac	9190	240	10330	10250	10301	9582	10821				
	(Lake) Six (SIX)	139,0	8	WAT-810	séd. vac	3190	60		3410	3417	3321	3564				
		220,5	9	WAT-697	séd. vac	5040	70		5830	5791	5643	5919				
		294,0	8	WAT-549	séd. vac	6970	100		7800	7804	7620	7967				
		195,0	10	WIS-1047	séd. vac	3350	70		3590	3588	3441	3728				
Yelle (lac) (YELLE)		295,0	10	WIS-1054	séd. vac	5625	75	6410	6410	6412	6286	6567				
		380,0	10	WIS-1053	séd. vac	8900	90	10030	10030	9998	9703	10225				

Annexe 6. (suite)

Domaine bioclimatique	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges AA utilisés pour la création des modèles			
			Matériel*	Date ¹⁴ C (ou ²¹⁰ Pb) AA-1950		Âge Calib 5 (ou 3.0) (AA)	Âge Calib 6.0 (médiane) (AA)		Minimum	Maximum
				Mesurée	Corrigée		Mesuré	Corrigé		
Francis (lac) (FRANC)		Moyenne	Épaisseur							
		3,0	1		-17	0	0	0		
		7,0	1		8	0	0	0		
		11,0	1		39	40	40	40		
		15,0	1		82	100	100	100		
		19,0	1		96	100	100	100		
		21,0	1		124	110	110	110		
		27,0	3		490	520	520	523	426	655
		38,0	1							
		80,0	1							
Sapinière à bouleau blanc (SBb) (suite)		105,0	1		1080	980	980	995	918	1091
		139,0	3		1820	1760	1760	1753	1567	1893
		193,0	1		2110	2080	2080	2096	1856	2346
		224,0	1		3620	3930	3930	3937	3811	4098
		243,0	1		4800	5510	5510	5521	5447	5650
		261,0	1		5200	5950	5950	5974	5731	6211
		297,5	2		5870	6890	6890	6889	6496	6807
		155,0	10		6420	7360	7360	7336	7155	7567
		275,0	10		2835	2940	2940	2959	2779	3162
		357,0	10		5210	5960	5960	5981	5881	6186
Pas de fond (lac) (PFOND)					8310	9350	9350	9311	9088	9482
		13,0	1		18	0	0	0		
		16,0	1		31	40	40	40		
		19,0	1		58	50	50	50		
		22,0	1		129	110	110	110		
		25,0	1		135	140	140	140		
		28,5	2		296	390	390	390		
		69,0	3		1580	1460	1460	1471	1327	1617
		133,0	7		3160	3380	3380	3385	3215	3511
		194,0	3		4810	5510	5510	5528	5435	5721
Saint-François de Sales (SFS)		226,0	5		5030	5830	5830	5781	5643	5913
		285,5	8		5860	6680	6680	6687	6308	7029
		328,0	5		6920	7740	7740	7765	7565	7983
		107,5	5		2705	2800	2800	2830	2467	3161
		306,5	7		2855	2970	2970	2991	2777	3217
		407,5	5		7965	8870	8870	8825	8512	9136
		453,0	10		8955	10170	10170	10032	9542	10519
		95,0	10		2560	2720	2720	2612	2358	2793
		245,0	10		8950	10160	10160	10022	9595	10406

Annexe 6. (suite et fin)

Domaine bioclimatique	Nom (et sigle) du site	Profondeur (cm)	Laboratoire	Matériel*	Données archivées au Département de géographie de l'Université de Montréal				Âges AA utilisés pour la création des modèles âge/profondeur des sites			
					Date ¹⁴ C (ou ²¹⁰ Pb) AA-1950		Âge Calib 5 (ou 3.0) (AA)		Âge Calib 6.0 (médiane) (AA)		2 sigma (Calib 6.0)	
					Mesurée	Corrigée	Écart	Mesuré	Corrigé	À utiliser	Minimum	Maximum
Sapinière à bouleau blanc (SBb) (suite)	Couche paganique (COUCH)	Moyenne	Épaisseur									
		207,5	5	BETA-16891	séd. vrac	1700	70	1590	1590	1612	1479	1741
		442,5	5	BETA-16892	séd. vrac	2950	55	3120	3120	3120	2955	3266
		722,5	5	BETA-16893	séd. vrac	5930	75	6750	6750	6762	6598	6948
	Flévy (lac) (FLEVY)	901,3	2,5	BETA-16894	séd. vrac	8400	95	9450	9450	9396	9195	9540
		209,5	5	BETA-10547	séd. vrac	3570	3440	170	3870	3690	3717	3333
		420,5	5	BETA-10548	séd. vrac	5240	5120	200	5970	5890	5881	5466
		569,0	6	BETA-10549	séd. vrac	10420	10310	130	12300	12090	12112	11612
		94,0	8	I-10108	séd. vrac	3350	95	3590	3590	3594	3393	3830
		227,0	6	I-10109	séd. vrac	5830	115	6650	6650	6640	6398	6936
		307,5	5	I-10145	séd. vrac	7060	340	7890	7890	7906	7268	8554
		384,0	8	I-10144	séd. vrac	9920	165	11290	11290	11454	11067	12043
Louis (lac) (LOUIS)	Valin (mont) 1 (VAL1)	237,0	1	GSC-1491	séd. vrac	4260	240	4840	4825	4825	4217	5469
		412,0	1	GSC-1481	séd. vrac	7280	250	8100	8100	8104	7617	8557
		535,0	1	GSC-1432	séd. vrac	9090	240	10230	10230	10240	9545	10793
		97,5	5	GSC-4215	séd. vrac	1800	1720	80	1730	1630	1635	1484
	Neume (lac) (CGC27)	197,5	5	GSC-4208	séd. vrac	3300	3250	100	3520	3460	3486	3247
		327,5	5	GSC-4185	séd. vrac	6240	6150	130	7190	7060	7037	6718
		422,5	5	GSC-4172	séd. vrac	8420	8340	100	9460	9360	9331	9089
		452,5	5	GSC-3246	séd. vrac	8700	8640	160	9630	9570	9691	9399
		52,5	5	BETA-100319	séd. vrac	1780	1700	80	1700	1590	1612	1415
		97,5	5	UQ-665	séd. vrac	3610	200	3910	3910	3941	3444	4441
Sapinière à bouleau jaune (SBj)	Bride (lac) (BRIDE)	152,5	5	BETA-100320	séd. vrac	5390	5310	60	6220	6080	6092	5981
		197,5	5	UQ-666	séd. vrac	7700	800	8480	8480	8661	6896	10572
		252,5	5	BETA-100321	séd. vrac	8150	8060	130	9070	9000	8946	8592
		312,5	5	UQ-667	séd. vrac	8260	450	9240	9240	9209	8172	10283
	Martini (lac) (MART)	95,0	10	WIS-986	séd. vrac	1840	60	1770	1770	1775	1614	1898
		195,0	10	WIS-989	séd. vrac	2355	55	2350	2350	2407	2304	2541
		295,0	10	WIS-990	séd. vrac	2675	60	2770	2770	2795	2715	2925
		395,0	10	WIS-991	séd. vrac	7870	85	8630	8630	8710	8516	8993
		457,5	15	WIS-992	séd. vrac	8740	90	9700	9700	9761	9540	9956

* séd. vrac : sédiment en vrac.

Annexe 7. Description des zones d'assemblage pollinique (ZAP) des 26 sites de l'ouest du Québec. Les 26 diagrammes polliniques et les dendrogrammes de groupement (CONISS) sont livrés à l'annexe 5. La description des ZAP des sites est présentée dans le même ordre que les diagrammes polliniques de l'annexe 5 : (1) les sites du domaine de la pessière à lichens (PL, n = 8), (2) les sites du domaine de la pessière à mousses (PM, n = 4), (3) les sites du domaine de la sapinière à bouleau blanc (SBb, n = 10) et finalement (4) les sites du domaine de la sapinière à bouleau jaune (SBj, n = 4). Dans le nom des ZAP, les taxons entre parenthèses correspondent à une faible et occasionnelle représentation. Il faut lire les descriptions de bas en haut pour comprendre les changements invoqués. La concentration pollinique (CP) moyenne et le taux d'accumulation pollinique (TAP) moyen des ZAP sont aussi livrés lorsque disponibles. Le climat moyen (le nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C [GDD5] et la température moyenne du mois le plus froid [MTCO]) reconstitué pour chaque ZAP nous renseigne sur le biome. Les groupes K-means auxquels appartiennent les analogues modernes comparables aux assemblages postglaciaires des ZAP et leurs coordonnées géographiques (lat. et long.) moyennes sont également présentés, et nous renseignent sur le type de végétation (voir la figure 9c pour la répartition des 15 groupes sur le territoire et pour leur végétation). Rappelons que les groupes K-means dont le nom débute par la lettre « A » sont associés à la toundra forestière et à la forêt boréale, alors que ceux dont le nom débute par la lettre « B » sont associés à la forêt mixte ou encore à la prairie.

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
GB2 — Grande Rivière de la Baleine (lac) : lat. 55° 06' N., long. 75° 17' O. (PL)			
2b2 (n = 19) 49-2480 AA 0-45 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula-Pinus-(Larix)</i> Le pollen de <i>Picea</i> oscille entre 50 et 70 %, et celui d' <i>Alnus crispa</i> entre 15 et 25 %. Le pourcentage de <i>Betula</i> est faible (10 %) et celui de <i>Pinus</i> plus élevé (5 %). Le pollen de <i>Larix</i> est continuellement présent (< 1,5 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont de nouveaux abondantes (5 %). CP et TAP non disponibles	Aa2b (Aa2a) 55,13 ± 0,17° N. 74,55 ± 1,33° O.	GDD5 : 400 °-jours MTCO : -23,9 °C
2b1 (n = 15) 2701-4194 AA 51-120 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula</i> De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> augmente (55 %) et celui d' <i>Alnus crispa</i> diminue (25 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> (12 %) est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente. Le pollen de <i>Pinus</i> est un peu plus abondant (2,5 %). CP et TAP non disponibles	Aa2b 55,27 ± 0,38° N. 73,79 ± 2,96° O.	GDD5 : 400 °-jours MTCO : -23,7 °C
2a (n = 19) 4247-6149 AA 124-216 cm	<i>Alnus crispa-Picea-Betula</i> Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> augmente abruptement (40 %), puis diminue progressivement (35 %). <i>Picea</i> est abondant (40 %) et <i>Betula</i> est présent (18 %). Les pourcentages de pollen herbacé et des Cupressaceae sont très faibles (< 1 %), tout comme ceux de <i>Populus</i> , de <i>Larix</i> (< 0,5 %), et de <i>Pinus</i> (1 %) et de <i>Sphagnum</i> (< 1,5 %). CP et TAP non disponibles	Aa2b (Ab1) 55,46 ± 0,52° N. 74,20 ± 3,30° O.	GDD5 : 400 °-jours MTCO : -23,9 °C
1 (n = 5) 6304-7234 AA 220-240 cm	<i>Picea-Betula-Populus-Larix-herbes</i> Le pollen de <i>Picea</i> (35 %) et de <i>Betula</i> (20 %) domine l'assemblage. Les pourcentages de <i>Populus</i> (10 %) et de <i>Larix</i> (5 %) sont abondants et ils chutent au sommet. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> , des Cupressaceae et celui de plantes herbacées est présent. Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont abondantes (5 %). CP et TAP non disponibles	Aa2b-Ab1 56,32 ± 1,14° N. 73,87 ± 3,03° O.	GDD5 : 300 °-jours MTCO : -23,9 °C
LG409 — LG-4-83-09 (lac) : lat. 54° 54' N., long. 72° 47' O. (PL)			
2b (n = 8) 0-2365 AA 0-70 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula-Pinus banksiana</i> Le pollen de <i>Picea</i> domine la ZAP (50 %). <i>Pinus banksiana</i> est plus abondant (6 %). Les pourcentages de <i>Betula</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont minimaux (15 %). Les spores de <i>Sphagnum</i> sont plus abondantes (> 5 %). Le pollen d'Ericaceae est continuellement présent (1 %). CP : 262 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 7 000 et 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b 54,90 ± 1,01° N. 73,19 ± 5,06° O.	GDD5 : 450 °-jours MTCO : -23,5 °C
2a (n = 6) 2694-4272 AA 80-130 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula</i> Le pourcentage de <i>Picea</i> augmente progressivement (45 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (2,5 %) augmente légèrement, tout celui de comme <i>Sphagnum</i> (2,5 %). Au sommet, <i>Betula</i> et <i>Alnus crispa</i> sont peu abondants (± 20 %). CP : 311 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 12 000 à 7 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b (Ab1) 55,04 ± 0,51° N. 74,34 ± 2,25° O.	GDD5 : 450 °-jours MTCO : -24,0 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
Betula-Alnus crispa-Picea			
1b (n = 7) 4574-6286 AA 140-200 cm	<i>Picea</i> augmente progressivement en oscillant entre 30 et 40 %. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> est abondant à la base (40 %), suivi par celui de <i>Betula</i> (35 %). Par la suite, les pourcentages de ces deux taxons diminueront continuellement jusqu'au sommet de la séquence. Dans cette ZAP, le pollen herbacé chute (< 1,5 %) et le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est plus faible (1,5 %), de même que celui de <i>Sphagnum</i> (0,5 %). CP : 363 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 10 000 et 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b-Ab1 54,91 ± 1,25° N. 73,67 ± 4,35° O.	GDD5 : 450 °-jours MTCO : -22,9 °C
CP min.-Picea-Betula-Alnus crispa-herbes			
1a (n = 2) 6555-6688 AA 210-215 cm	Le pollen de <i>Picea</i> (30 %), de <i>Betula</i> (20 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (18 %) domine la ZAP. Le pollen herbacé (12 %) et les spores de <i>Sphagnum</i> (10 %) sont abondants. <i>Populus</i> (1 %) et <i>Pinus banksiana</i> (5 %) sont présents. CP : 60 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 2 000 à 2 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1-Aa2b (Aa1a) 54,94 ± 1,50° N. 74,71 ± 4,34° O.	GDD5 : 450 °-jours MTCO : -23,3 °C
BR12 — Brisay (Iac) : lat. 54° 21' N., long. 70° 21' O. (PL)			
Alnus crispa-Picea-Betula			
2b (n = 11) 12-4643 AA 0-90 cm	De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> augmente graduellement (25 %). Dans la partie inférieure de la ZAP, le pourcentage d' <i>Abies</i> est faible (1,5 %), mais néanmoins important. Le pollen d' <i>Abies</i> est absent au sommet de la ZAP. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> oscille entre 30 et 40 % et celui de <i>Betula</i> est relativement stable (25 %). CP : 172 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 4 000 à 2 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1-Aa2b 55,17 ± 1,96° N. 69,90 ± 7,05° O.	GDD5 : 450 °-jours MTCO : -21,6 °C
Betula-Alnus crispa-Picea			
2a (n = 6) 4872-6603 AA 95-135 cm	À la base de la ZAP, les pourcentages de <i>Betula</i> (45 %) et de <i>Picea</i> (15 %) augmentent abruptement, alors que celui d' <i>Alnus crispa</i> (35 %) chute. À travers la ZAP, le pourcentage de <i>Picea</i> augmente continuellement et atteint 20 % au sommet. CP : 248 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 10 000 à 4 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 56,75 ± 1,74° N. 73,44 ± 2,78° O.	GDD5 : 300 °-jours MTCO : -24,4 °C
Alnus crispa-Betula-Picea			
1 (n = 2) 6806-6926 AA 140-143 cm	ZAP dominée par <i>Alnus crispa</i> (80 %). Les pourcentages de pollen herbacé (< 2,5 %), de <i>Picea</i> (< 2,5 %) et de <i>Betula</i> (< 10 %) sont très faibles. CP : 182 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 3 000 à 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 55,99 ± 0,64° N. 68,26 ± 8,68° O.	GDD5 : 350 °-jours MTCO : -20,5 °C
LG406P — LG-4-83-06 P (Iac) : lat. 54° 04' N., long. 72° 56' O. (PL)			
Picea-Alnus crispa-Betula-Pinus banksiana			
2 (n = 15) 198-3878 AA 0-140 cm	Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente (> 5 %) et celui de <i>Betula</i> diminue (20 %). CP : 137 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 13 000 à 2 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b-Aa1a (Ab1) 55,37 ± 2,12° N. 78,21 ± 8,63° O.	GDD5 : 500 °-jours MTCO : -24,0 °C
Picea-Betula-Alnus crispa-Pinus banksiana			
1b (n = 10) 4005-5114 AA 150-240 cm	Cette zone est marquée par une augmentation du pollen de <i>Pinus banksiana</i> (> 3 %) et une diminution de celui de <i>Betula</i> (25 %). Les pourcentages de <i>Picea</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont comparables à ceux de la ZAP précédente et demeureront constants jusqu'au sommet de la séquence. CP : 197 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente puis diminue : de 15 000 à 20 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹ , puis à 13 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1-Aa2b 55,85 ± 1,67° N. 72,73 ± 7,26° O.	GDD5 : 400 °-jours MTCO : -23,7 °C
Betula-Picea-Alnus crispa			
1a (n = 9) 5274-7288 AA 250-330 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (35 %), de <i>Picea</i> (30 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (20 %) domine la ZAP. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est < 2 %. CP : 170 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 3 000 à 9 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 (Aa2b) 56,32 ± 1,35° N. 72,01 ± 5,17° O.	GDD5 : 350 °-jours MTCO : -23,6 °C
LG405 — LG-4-83-05 (Iac) : long. 54° 04' N., lat. 72° 55' O. (PL)			
Picea-Pinus banksiana-Betula-Alnus crispa			
2 (n = 10) 237-2623 AA 10-100 cm	Le début de cette zone est marqué par une augmentation des pourcentages de <i>Picea</i> (50 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (15 %), conjointement à une diminution des pourcentages de <i>Betula</i> (10 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (15 %). On note par la suite une diminution progressive du pourcentage de <i>Picea</i> (35 %) et une augmentation du pourcentage de <i>Betula</i> (20 %). Le pollen d' <i>Ericaceae</i> est plus abondant (1 %), tout comme les spores de <i>Sphagnum</i> (2 %). CP : 113 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 2 500 et 6 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1a-Aa2b (Aa2c) 55,88 ± 3,22° N. 84,03 ± 11,04° O.	GDD5 : 600 °-jours MTCO : -24,7 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
1b (n = 4) 2944-3977 AA 110-140 cm	<i>Alnus crispa-Betula-Picea</i> En comparaison à la ZAP précédente, <i>Alnus crispa</i> (32 %) est plus abondant, et les pourcentages de <i>Betula</i> (25 %) et de <i>Picea</i> (22 %) sont plus faibles. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est toujours très faible (3 %). CP : 179 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins stable à env. 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1-Aa1a (Aa2b) 56,37 ± 3,31° N. 83,57 ± 12,86° O.	GDD5 : 500 °-jours MTCO : -24,8 °C
1a (n = 5) 4343-5923 AA 150-190 cm	<i>Betula-Alnus crispa-Picea</i> Le pollen de <i>Betula</i> (30 %), d' <i>Alnus crispa</i> (25 %) et de <i>Picea</i> (25 %) est abondant. Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (< 5 %) et les spores de <i>Sphagnum</i> (0,5 %) sont peu abondants. CP : 168 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 3 000 à 4 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1-Aa1a (Aa2b) 55,85 ± 2,17° N. 79,80 ± 8,58° O.	GDD5 : 500 °-jours MTCO : -24,7 °C
BER — Béréziuk (lac) : lat. 54° 03' N., long. 76° 07' O. (PL)			
2b (n = 7) 175-3087 AA 5-150 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Pinus banksiana</i> Le pourcentage de <i>Picea</i> oscille entre 25 et 45 %. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> diminue vers le sommet (20 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est plus élevé (20 %) et celui de <i>Betula</i> est < 10 %. CP : 75 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 12 000 à 1 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1a 57,08 ± 3,27° N. 87,92 ± 11,62° O.	GDD5 : 550 °-jours MTCO : -25,7 °C
2a2 (n = 6) 3317-4438 AA 175-300 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula-Pinus banksiana</i> De la base au sommet, les pourcentages de <i>Picea</i> (35 %) et de <i>Betula</i> (15 %) diminuent et celui de <i>Pinus banksiana</i> augmente (10 %). Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> (25 %) est légèrement plus faible que celui de la ZAP précédente. CP : 115 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 8 000 à 14 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1a-Aa2b 55,15 ± 1,56° N. 78,88 ± 5,38° O.	GDD5 : 500 °-jours MTCO : -23,9 °C
2a1 (n = 5) 4795-7327 AA 325-425 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula</i> Le pourcentage de <i>Populus</i> chute (< 1 %). <i>Picea</i> augmente abruptement (40 %) et <i>Betula</i> , légèrement (20 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est très faible < 2 %. <i>Alnus crispa</i> est abondant (30 %). CP : 148 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 4 000 à 6 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b (Ab1) 55,72 ± 0,95° N. 76,20 ± 4,91° O.	GDD5 : 400 °-jours MTCO : -24,3 °C
1b (n = 2) 7909-8334 AA 440-450 cm	<i>Alnus crispa-Populus</i> Vers le sommet de la ZAP, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente (30 %) et celui du pollen herbacé diminue (3 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> augmente abruptement (20 %). En contrepartie, celui de <i>Pinus banksiana</i> chute (< 5 %). Les pourcentages de <i>Salix</i> et des Cupressaceae sont faibles, mais néanmoins importants (3-4 %). CP : 103 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 500 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1a-Ab1 55,47 ± 2,08° N. 80,15 ± 10,15° O.	GDD5 : 600 °-jours MTCO : -22,4 °C
1a (n = 4) > 8500 AA 460-500 cm	CP min.-<i>Pinus banksiana-Picea-herbes</i> Le pollen herbacé est abondant (20 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est > 20 %. <i>Picea</i> (20 %), <i>Betula</i> (15 %) et <i>Alnus crispa</i> (15 %) sont aussi présents. CP très faible : 3 000 à 7 000 gr·cm ⁻³ ; (TAP : 50-150 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹)	Aa1b (Bc2-Ab1-Aa1a) 53,52 ± 3,49° N. 94,61 ± 4,29° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -21,9 °C
LG401P — LG-4-83-01 P (lac) : lat. 54° 02' N., long. 72° 52' O. (PL)			
2 (n = 10) 526-3739 AA 10-100 cm	<i>Picea-Alnus crispa-Betula-Pinus banksiana</i> Le pollen de <i>Picea</i> (45 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (7 %) est plus abondant, et celui de <i>Betula</i> (20 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (15 %) est plus faible. <i>Alnus crispa</i> est toutefois plus abondant au centre de la ZAP (25 %). Le pollen d'Ericaceae est continuellement présent (> 1 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont plus abondantes (5 %). CP : 283 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente puis diminue : de 8 000 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹ , puis à 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b (Aa1a) 54,80 ± 2,12° N. 75,10 ± 8,27° O.	GDD5 : 500 °-jours MTCO : -23,2 °C
1 (n = 6) 4131-7058 AA 110-160 cm	<i>Betula-Picea-Alnus crispa</i> Le pollen de <i>Betula</i> est abondant (35 %). Le pollen de <i>Picea</i> (30 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (20 %) est également abondant. Le pollen d'Ericaceae est absent. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est faible (3 %). Les spores de <i>Sphagnum</i> sont présentes (2 %). CP : 342 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 900 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b-Ab1 (Aa2c) 53,86 ± 1,58° N. 71,24 ± 3,63° O.	GDD5 : 550 °-jours MTCO : -20,7 °C
LG412 — LG-4-83-12 (lac): lat. 52° 51' N., long. 73° 18' O. (PL)			
2b2 (n = 8) 171-2 161 AA 0-70 cm	<i>Picea-Pinus banksiana-Betula</i> Le pollen de <i>Picea</i> (47 %) est légèrement plus abondant que dans la ZAP précédente. Idem pour le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (8 %), d'Ericaceae (2 %) et des spores de <i>Sphagnum</i> (15 %). Les pourcentages de <i>Betula</i> (15 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (10 %) sont minimaux. CP : 363 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 20 000 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b 53,70 ± 1,82° N. 71,62 ± 5,47° O.	GDD5 : 550 °-jours MTCO : -22,3 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
2b1 (n = 8) 2342-3416 AA 80-150 cm	<i>Picea-Betula-Pinus banksiana</i> Le pollen de <i>Picea</i> domine la ZAP (43 %). Les pourcentages de <i>Betula</i> (20 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (15 %) sont faibles. <i>Pinus banksiana</i> (> 5 %) est plus abondant, et le pourcentage de <i>Sphagnum</i> oscille entre 2 et 20 %. Le pollen d' <i>Ericaceae</i> (1 %) est un peu plus abondant. CP : 436 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins stable à env. 28 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b (Aa2c) 53,28 ± 2,34° N. 68,91 ± 7,74° O.	GDD5 : 600 °-jours MTCO : -20,7 °C
2a2 (n = 5) 3586-4456 AA 160-200 cm	<i>Picea-Betula-Alnus crispa</i> On note une augmentation d' <i>Alnus crispa</i> (20 %) et une légère diminution de <i>Picea</i> (30 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> (30 %) est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente. Les pourcentages de <i>Sphagnum</i> et de <i>Pinus banksiana</i> sont comparables à la ZAP précédente. CP : 529 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 20 000 à 25 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b-Ab1-Aa2c 52,85 ± 2,17° N. 68,49 ± 6,79° O.	GDD5 : 600 °-jours MTCO : -19,6 °C
2a1 (n = 6) 4740-6741 AA 210-260 cm	<i>Betula-Picea</i> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation de <i>Picea</i> (35 %), de <i>Pinus banksiana</i> (3 %) et de <i>Betula</i> (35 %). Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> (10 %), de <i>Populus</i> (< 0,5 %) et celui des herbes (3 %) chute. Le pourcentage de <i>Sphagnum</i> est également plus faible (3 %). CP : 441 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 5 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Aa2b (Ab1) 51,11 ± 1,93° N. 64,74 ± 6,19° O.	GDD5 : 800 °-jours MTCO : -15,9 °C
1 (n = 2) 7005-7284 AA 265-270 cm	CP min.-<i>Alnus crispa</i>-<i>Betula</i>-<i>Populus</i>-herbes Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> et de <i>Betula</i> domine la ZAP (30 %). Le pollen des plantes herbacées (15 %) et de <i>Populus</i> (3,5 %) est présent. <i>Sphagnum</i> est présent (15 %). Le pollen de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> est très peu abondant (< 1,5 %). CP : 112 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement, de 1 000 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 57,83 ± 1,07° N. 73,12 ± 2,73° O.	GDD5 : 250 °-jours MTCO : -24,4 °C
CRATES — Crates Lake : lat. 49° 11' N., long. 81° 16' O. (PM secteur Ouest)			
2b2b (n = 4) 50-348 AA 1-30 cm	<i>Ambrosia</i> Cette zone est marquée par un léger pic d' <i>Ambrosia</i> (> 0,5 %) et une meilleure représentation du pollen arbustif (<i>Alnus</i> et <i>Salix</i>). CP et TAP non disponibles	Aa1b-Aa2c-Bc2 48,70 ± 0,57° N. 72,78 ± 6,48° O.	GDD5 : 1 000 °-jours MTCO : -16,6 °C
2b2a (n = 13) 458-2048 AA 40-160 cm	<i>Picea-Abies-Betula</i> Le pourcentage de <i>Picea</i> augmente (> 30 %) et celui de <i>Betula</i> diminue (< 30 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> est maximal à la base (8 %) de la ZAP, puis il diminue (< 5 %). CP et TAP non disponibles	Aa1b-Aa2c 48,84 ± 0,63° N. 73,67 ± 7,18° O.	GDD5 : 1 050 °-jours MTCO : -17,1 °C
2b1 - 5 (n = 11) 2204-4144 AA 170-280 cm	<i>Picea-Betula-Abies</i> Le pollen de <i>Picea</i> et de <i>Betula</i> est dominant (30 %). Le pollen d' <i>Abies</i> (> 5 %) est plus abondant alors que celui de <i>Pinus strobus</i> (< 5 %) et des Cupressaceae (< 3 %) est plus faible. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (12 %) est légèrement plus faible et il demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP et TAP non disponibles	Aa1b-Aa2c (Bb1) 48,68 ± 0,73° N. 73,42 ± 6,59° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -16,4 °C
2a2b (n = 8) 4342-5823 AA 290-360 cm	<i>Betula-Picea-Cupressaceae</i> Cette ZAP est marquée par la diminution du pollen des Cupressaceae (5 %) et de <i>Pinus</i> (<i>banksiana</i> et <i>strobus</i>) et par une augmentation (> 25 %) de <i>Picea</i> et de <i>Betula</i> . Le pollen d' <i>Abies</i> (> 3,5 %) et d' <i>Alnus incana</i> (> 1,5 %) est plus abondant. CP et TAP non disponibles	Bc2-Aa1b (Aa2c-Bb1) 48,57 ± 0,57° N. 80,55 ± 7,54° O.	GDD5 : 1 200 °-jours MTCO : -16,6 °C
2a2a (n = 8) 6048-7675 AA 370-438 cm	<i>Pinus strobus</i>-<i>Pinus banksiana</i>-Cupressaceae Le pollen de <i>Pinus strobus</i> est maximal (10 %) dans cette ZAP. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est maximal à la base (35 %), puis il diminue. Le pollen des Cupressaceae augmente vers le sommet (15 %) avec un pic de 35 % au centre de la ZAP. <i>Picea</i> (15 %) et <i>Betula</i> (20 %) sont moins abondants que dans la ZAP précédente. Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente légèrement. CP et TAP non disponibles	Bc2 48,24 ± 0,67° N. 86,36 ± 4,73° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -16,3 °C
2a1 (n = 12) 7979-11002 AA 450-560 cm	<i>Pinus banksiana</i>-<i>Betula</i>-<i>Picea</i>-<i>Populus</i> Le début de cette ZAP est marqué par une chute du pollen herbacé (< 10 %) et par une augmentation de celui de <i>Betula</i> (30 %) et de <i>Picea</i> (20 %). Le pollen de <i>Populus</i> est maximal dans cette ZAP (4-5 %). On note une augmentation du pollen de plusieurs arbres de climat tempéré. CP et TAP non disponibles	Bc2 (Bb1-Bc1-Aa1b) 48,83 ± 1,25° N. 86,44 ± 5,18° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -16,9 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
1 (n = 7) > 11 000 AA 570-627 cm	Herbes-Pinus banksiana Cette ZAP est dominée par <i>Pinus banksiana</i> (25 %) et les herbes (40 %). Le pollen de <i>Salix</i> est présent (2 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> diminue de la base (15 %) au sommet (5 %). <i>Betula</i> est présent (10 %). CP et TAP non disponibles	Bc2-Aa1b (Ab2) 52,77 ± 3,36° N. 91,08 ± 8,11° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -20,4 °C
PESS — lac à la Pessière : lat. 49° 30' N., long. 79° 14' O. (PM secteur Ouest)			
2b (n = 28) 439-2955 AA 31-247 cm	Picea-Pinus banksiana-(Abies) Le pourcentage de <i>Picea</i> oscille entre 45 et 65 %. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente (7 %). Le pollen d' <i>Abies</i> est mieux représenté (> 1 %). CP : 184 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue, de 18 000 à 12 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1b-Aa1a 49,84 ± 1,23° N. 78,67 ± 4,65° O.	GDD5 : 1 050 °-jours MTCO : -19,1 °C
2a (n = 15) 3056-4531 AA 255-367 cm	Picea-(Pinus strobus) Cette zone est marquée par la chute du pourcentage des Cupressaceae (3 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (50-55 %) est plus élevé et celui de <i>Pinus banksiana</i> (4 %) est plus faible. Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (10 %) est plus faible et il diminuera jusqu'au sommet de la séquence. CP : 222 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 22 000 et 12 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1b-Aa1a 49,63 ± 1,06° N. 79,33 ± 3,71° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -18,9 °C
1b2 (n = 17) 4640-6471 AA 375-503 cm	Picea-Pinus strobus-Cupressaceae Le pourcentage des Cupressaceae oscille entre 5 et 15 %. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (13 %) diminue légèrement et celui de <i>Picea</i> (40 %) augmente. Le pourcentage de <i>Populus</i> (1,5 %) est plus faible et il diminuera continuellement jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage de <i>Betula</i> est plus ou moins constant (10 %) et le demeurera jusqu'au sommet de la séquence. CP : 208 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 10 000 et 17 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1b-Bc2 49,08 ± 0,54° N. 80,91 ± 3,54° O.	GDD5 : 1 200 °-jours MTCO : -18,1 °C
1b1 (n = 8) 6590-7441 AA 511-567 cm	Pinus strobus-Picea-Populus Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> est maximal (20 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (30 %) augmente et celui de <i>Pinus banksiana</i> (10 %) diminue. Le pollen de <i>Populus</i> et des Cupressaceae est présent (3,5 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> oscille entre 6 et 12 %. Le pollen d' <i>Abies</i> est « absent ». Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente au milieu de la ZAP et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 184 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 8 000 à 12 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Aa1b 49,66 ± 1,14° N. 86,37 ± 6,10° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -18,4 °C
1a (n = 2) 7565-7689 AA 575-583 cm	CP min.-Pinus banksiana-Populus-herbes Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (20 %) domine la ZAP, suivi du pollen de <i>Picea</i> (10 %). Le pollen de <i>Pinus strobus</i> , de <i>Populus</i> , de Cupressaceae, de <i>Betula</i> , de <i>Salix</i> et des plantes herbacées est présent (5-10 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont présentes en traces (< 1 %). CP : 53 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 2 000 à 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 49,19 ± 1,45° N. 92,23 ± 4,55° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -17,3 °C
CH2 — Chapais 2 Lake : lat. 49° 41' N., long. 74° 35' O. (PM secteur Est)			
2b (n = 14) 35-1680 AA 0-65 cm	Pinus banksiana-Picea-Betula Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente et atteint sa valeur maximale (15 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (45 %) et de <i>Betula</i> (20 %) diminue. Au sommet de la ZAP, le pourcentage d' <i>Abies</i> et d' <i>Ambrosia</i> augmente (2 %) et celui de <i>Picea</i> diminue (35 %). Les spores de mousses sont abondantes (> 5 %). CP : 202 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 12 000 à 2 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1b (Aa2c-Aa1a) 49,88 ± 0,98° N. 76,81 ± 4,13° O.	GDD5 : 1 000 °-jours MTCO : -19,2 °C
2a (n = 23) 1777-3266 AA 70-180 cm	Picea-(Betula) Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> augmente (10 %) et celui de <i>Picea</i> est maximal (55-60 %). Le pollen de <i>Betula</i> diminue (25 %). Le pourcentage d'Ericaceae augmente vers le sommet de la ZAP. Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont présentes (± 2,5 %). CP : 288 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 35 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Aa2a-Aa2b 52,09 ± 1,56° N. 69,56 ± 7,11° O.	GDD5 : 700 °-jours MTCO : -19,5 °C
1b2b (n = 12) 3316-3861 AA 185-240 cm	Picea-Betula Le pourcentage de <i>Betula</i> diminue vers le sommet (35 %) et le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est faible (5 %). Le pollen de <i>Picea</i> augmente (50 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) augmentent (> 1,5 %). CP : 344 000 gr·cm ⁻³ , TAP maximal : 40 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Aa2b 52,87 ± 3,55° N. 67,65 ± 4,72° O.	GDD5 : 700 °-jours MTCO : -18,8 °C
1b2a (n = 26) 3914-6040 AA 245-375 cm	Betula-(Picea) Le pourcentage de <i>Betula</i> est maximal (50 %) alors que le pourcentage de <i>Picea</i> est relativement faible (35 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 442 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 15 000 à 35 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Aa2b (Bb1) 50,77 ± 2,48° N. 66,66 ± 4,72° O.	GDD5 : 800 °-jours MTCO : -15,9 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
Betula-Picea-Pinus			
1b1 (n = 15) 6 167-8 491 AA 380-450 cm	Diminution du pourcentage de <i>Larix</i> , d' <i>Alnus crispa</i> et de Cyperaceae (< 2 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> augmente abruptement (53 %) puis diminue et augmente de nouveau au sommet de la ZAP. Le pourcentage de <i>Picea</i> oscille entre 25 et 50 %. Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> est présent (10 %). CP : 366 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 5 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Aa2b 51,03 ± 2,28° N. 67,84 ± 4,96° O.	GDD5 : 800 °-jours MTCO : -17,1 °C
CP min.-Picea-Betula-Larix-herbes			
1a (n = 6) 8 617-9 141 AA 453-465 cm	Forts pourcentages de <i>Larix</i> , d' <i>Alnus crispa</i> , de Cyperaceae (8 %) , et de <i>Salix</i> (3 %). Les assemblages sont dominés par <i>Picea</i> (35-50 %) et <i>Betula</i> (15-30 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> est faible, mais néanmoins significatif. CP : 48 000 gr·cm ⁻³ , TAP faible : de 250 à 1 800 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2b-Aa1a-Ab1 54,06 ± 2,44° N. 74,57 ± 9,00° O.	GDD5 : 600 °-jours MTCO : -22,7 °C
DES — lac Desautels : lat. 49° 27' N., long. 73° 15' O. (PM secteur Est)			
Betula-Picea-Pinus banksiana-Abies			
2b2 (n = 15) 0-2 604 AA 0-200 cm	Cette zone est marquée par un retour du pollen de <i>Pinus banksiana</i> (> 10 %) (et de <i>Quercus</i> [> 0,5 %]). Le pollen de <i>Betula</i> décline toujours progressivement (au sommet : 25 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (25 %) et d' <i>Abies</i> (5 %) est comparable à la ZAP précédente. CP : 247 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue fortement : de 50 000 à 7 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa2c-Bb1 (Aa1b-Bb4) 48,33 ± 1,13° N. 70,56 ± 5,01° O.	GDD5 : 1 050 °-jours MTCO : -15,4 °C
Betula-Picea-(Abies)			
2b1 (n = 14) 2 666-5 184 AA 210-420 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (50 %) et de <i>Picea</i> (25 %) domine la zone. On observe une légère diminution de <i>Betula</i> vers le sommet. <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. De la base au sommet, on observe une légère diminution du pollen de <i>Pinus strobus</i> accompagnée d'une augmentation d' <i>Abies</i> . Au sommet de la ZAP, <i>Abies</i> est > 5 %. CP : 271 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente fortement : de 9 000 à 50 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Aa2c-Bb4 48,09 ± 1,24° N. 67,77 ± 3,34° O.	GDD5 : 1 050 °-jours MTCO : -14,1 °C
Betula-Picea-Pinus strobus-(Populus-Myrica)			
2a (n = 13) 5 703-9 850 AA 440-545 cm	Le début de cette zone est marqué par une augmentation abrupte de <i>Betula</i> (50 %). De la base au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> diminue, alors que celui de <i>Picea</i> augmente. Au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est < 3 % et celui de <i>Picea</i> > 20 %. Tout comme <i>Alnus crispa</i> , le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> chute abruptement (< 5 %) au début de la ZAP. C'est dans cette ZAP que le pollen de <i>Pinus strobus</i> est maximal (10 %). <i>Populus</i> et <i>Quercus</i> sont toujours présents, mais très faiblement (< 1 %). Le pourcentage de <i>Myrica</i> est maximal à la base de la ZAP (5 %). CP : 222 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 4 000 à 6 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Aa2c 48,31 ± 1,01° N. 66,29 ± 5,88° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -12,8 °C
CP min.-Pinus banksiana-Alnus crispa-Populus-Quercus			
1 (n = 4) > 10 000 AA 550-567 cm	Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> et d' <i>Alnus crispa</i> domine cette zone (± 25 %). Le pourcentage de ces 2 taxons diminue vers le sommet. Le pollen de <i>Populus</i> (2,5 %) et de <i>Quercus</i> (3 %) est maximal dans cette ZAP, tout comme celui de <i>Salix</i> et de Cyperaceae. Le pollen de <i>Betula</i> (20 %) et de <i>Picea</i> (5 %) est présent. CP : 112 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 600 à 3 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 48,64 ± 1,20° N. 88,40 ± 6,31° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -16,5 °C
SIX — Lake Six : lat. 48° 24' N., long. 81° 19' O. (SBb secteur Ouest)			
Pinus banksiana-Picea-Betula-(Abies)			
2b (n = 10) 12-2 203 AA 1-90 cm	Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (4 %) est très faible. Comparativement à la ZAP précédente, le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (30-35 %) et de <i>Picea</i> (20 %) est plus abondant et le pourcentage de <i>Betula</i> (15 %) est plus faible. CP et TAP non disponibles	Bc2 48,50 ± 0,77° N. 84,89 ± 6,86° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -17,0 °C
Pinus banksiana-Betula-Pinus strobus-(Abies)			
2a2 (n = 10) 2 460-4 858 AA 100-190 cm	Le début de cette ZAP est marqué par une chute du pollen des Cupressaceae (2,5 %). Le pollen de <i>Betula</i> est maximal (25 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> (2 %) augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (20 à 10 %) diminue et celui de <i>Picea</i> (10 à 20 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (25 à 30 %) augmente. CP et TAP non disponibles	Bc2 48,18 ± 0,89° N. 85,28 ± 6,36° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -16,3 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
2a1 (n = 9) 5135-7423 AA 200-280 cm	<i>Pinus strobus</i>-<i>Betula</i>-<i>Cupressaceae</i> Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pollen de <i>Pinus strobus</i> (20 %) suivi d'une augmentation du pollen des <i>Cupressaceae</i> (10 %). En contre-partie, le pourcentage de <i>Populus</i> (1,5 %), de <i>Picea</i> (< 10 %), de <i>Pinus banksiana</i> (30 %) et des herbes (< 5 %) diminue. De la base au sommet, le pollen de <i>Betula</i> augmente (10 à 20 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente légèrement. CP et TAP non disponibles	Bc2 47,90 ± 0,96° N. 86,75 ± 5,40° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -15,7 °C
1b (n = 4) 7718-8491 AA 290-316 cm	<i>Pinus banksiana</i>-<i>Picea</i>-<i>Populus</i> Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (40 %) domine toujours l'assemblage. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> (15 à 10 %) et des herbes diminue (15 à 10 %). Cette ZAP est principalement marquée par une augmentation du pollen de <i>Populus</i> (4-5 %), de <i>Pinus strobus</i> (2 %), des <i>Cupressaceae</i> (1,5 %) et de <i>Betula</i> (10 %). Le pollen de <i>Populus</i> est maximal dans cette ZAP. Le pollen des herbes est encore abondant (10-15 %). Les spores de mousses sont présentes en traces (< 0,5 %). CP et TAP non disponibles	Bc2 48,76 ± 1,04° N. 92,10 ± 3,28° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -16,9 °C
1a (n = 6) > 8500 AA 324-380 cm	<i>Pinus banksiana</i>-<i>Picea</i>-herbes Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Picea</i> domine la zone. De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente (30 à 45 %) et celui de <i>Picea</i> diminue (25 à 15 %). Le pollen de plantes herbacées diminue également de la base au sommet (25 à 15 %). Le pollen de <i>Pinus strobus</i> , de <i>Populus</i> et des <i>Cupressaceae</i> est absent ou présent en traces. Le pourcentage de <i>Betula</i> est faible (< 5 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont abondantes (7 %). CP et TAP non disponibles	Aa1b (Ab2-Bc2) 51,45 ± 3,84° N. 85,33 ± 11,50° O.	GDD5 : 1 050 °-jours MTCO : -20,2 °C
YELLE — lac Yelle : lat. 48° 30' N., long. 79° 38' O. (SBb secteur Ouest)			
2b2 (n = 4) 19-714 AA 0-60 cm	<i>Picea</i>-<i>Betula</i>-<i>Pinus banksiana</i> Cette ZAP se distingue de la précédente par un pourcentage plus élevé de <i>Picea</i> (25 %). Les spores de mousses (<i>Sphagnum</i>) sont également un peu plus abondantes (1,5 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Betula</i> est comparable à celui de la ZAP précédente. CP : 220 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente en surface : de 15 000 à 30 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 (Aa1b-Aa2c) 48,51 ± 0,78° N. 75,29 ± 6,29° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -16,4 °C
2b1 (n = 6) 1020-3085 AA 80-180 cm	<i>Betula</i>-<i>Pinus banksiana</i>-<i>Picea</i> Le pollen des <i>Cupressaceae</i> chute (< 3 %) et celui de <i>Pinus banksiana</i> augmente (20 %). Dans l'ensemble, le pourcentage de <i>Picea</i> (15 %) et de <i>Betula</i> (30 %) est plus élevé que dans la ZAP précédente. De la base au sommet, le pollen de <i>Pinus strobus</i> diminue (15 à 5 %) et il diminuera jusqu'au sommet de la séquence. Les spores de <i>Sphagnum</i> sont présentes en traces (< 1 %). CP : 327 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins constant : env. 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 47,80 ± 0,67° N. 78,17 ± 5,90° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -15,6 °C
2a2 (n = 6) 3607-6757 AA 200-300 cm	<i>Betula</i>-<i>Pinus strobus</i>-<i>Cupressaceae</i> Une augmentation abrupte (35 %) du pollen des <i>Cupressaceae</i> marque le début de la ZAP. Par la suite, son pourcentage diminuera progressivement jusqu'au sommet de la séquence. De la base au sommet, on observe une diminution du pollen de <i>Pinus strobus</i> (20 à 15 %) et une augmentation du pollen de <i>Betula</i> (10 à 25 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> chute. Le pourcentage de <i>Picea</i> (8 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (12 %) est minimal. <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 237 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente au sommet : de 5 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 47,60 ± 0,92° N. 81,89 ± 6,08° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -15,3 °C
2a1 (n = 6) 7122-9081 AA 310-360 cm	<i>Pinus strobus</i>-<i>Betula</i>-<i>Populus</i> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pollen de <i>Betula</i> , suivi de celui de <i>Pinus strobus</i> . De la base au sommet, le pourcentage de <i>Betula</i> diminue (30 à 10 %) et celui de <i>Pinus strobus</i> augmente (5 à 35 %). C'est dans cette ZAP que le pourcentage de <i>Populus</i> (6 %) est maximal. Les pourcentages de <i>Picea</i> , de <i>Pinus banksiana</i> , de <i>Quercus</i> , des <i>Cupressaceae</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont plus faibles que dans la ZAP précédente. Le pourcentage d' <i>Abies</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 195 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 3 000 à 9 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 47,74 ± 1,1° N. 88,54 ± 4,80° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -15,2 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
CP min.-<i>Pinus banksiana</i>-<i>Picea</i>-<i>Betula</i>-<i>Alnus crispa</i>-<i>Quercus</i>			
1 (n = 10) > 9000 AA 380-500 cm	Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> domine la ZAP. Dans l'ensemble, son pourcentage diminue de la base au sommet (50 à 30 %). Les autres taxons présents sont, en importance, <i>Picea</i> (15 %), les herbes (9 %), <i>Betula</i> (8 %), Cupressaceae (5 %), <i>Quercus</i> (4 %) et <i>Alnus crispa</i> (3 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> est faible (1 %). CP : 14 000 gr·cm ⁻³ , TAP < 200 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Aa1b) 49,35 ± 1,17° N. 92,13 ± 3,86° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -17,5 °C
FRANC — lac Francis : lat. 48° 32' N., long. 79° 28' O. (SBb secteur Ouest)			
<i>Pinus banksiana</i>-<i>Picea</i>-<i>Betula</i>			
2b2 (n = 6) 55-399 AA 6-31 cm	Dans cette zone, le pollen de <i>Pinus banksiana</i> augmente (20 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (25 %) est comparable à celui de la ZAP précédente et celui de <i>Betula</i> est légèrement plus faible (< 25 %). CP : 188 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 15 000 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Aa1b) 48,70 ± 0,76° N. 81,11 ± 7,44° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -17,3 °C
<i>Picea</i>-<i>Betula</i>-<i>Pinus</i>			
2b1 (n = 9) 475-1 175 AA 36-76 cm	Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation du pollen de <i>Picea</i> (25 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (10 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> (25 %) est plus faible que dans la zone précédente. CP : 205 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins stable : env. 12 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Aa1b-Aa2c-Bb4) 48,30 ± 1,25° N. 78,47 ± 8,03° O.	GDD5 : 1 250 °-jours MTCO : -16,4 °C
<i>Betula</i>-<i>Pinus</i>			
2a (n = 19) 1273-3476 AA 81-171 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine cette zone. Il oscille entre 30 et 50 %. Le pourcentage des Cupressaceae est faible, et il diminue de la base au sommet (10 à 5 %) tout comme celui de <i>Pinus strobus</i> (15 à 5 %). La diminution progressive du pourcentage de ces deux taxons se poursuivra jusqu'au sommet de la séquence. CP : 210 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue puis augmente : env. 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 (Bb3-Bb4) 47,50 ± 0,78° N. 75,16 ± 5,05° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -15,0 °C
Cupressaceae-<i>Betula</i>-<i>Pinus strobus</i>			
1b2 (n = 10) 3621-5048 AA 176-221 cm	Cette zone est marquée par le déclin progressif du pourcentage des Cupressaceae (de 35 à 20 %) accompagné de l'augmentation de <i>Betula</i> (de 15 à 30 %). Le pollen de <i>Pinus strobus</i> oscille entre 15 et 25 %. Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 292 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue légèrement : de 9 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Bb1-Bb3-Bb4) 47,46 ± 0,86° N. 79,62 ± 5,66° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -15,0 °C
Cupressaceae-<i>Pinus strobus</i>			
1b1 (n = 6) 5219-5746 AA 226-241 cm	Le pollen des Cupressaceae est très abondant et il oscille entre 25 et 50 %. Le pourcentage de <i>Betula</i> (10 %) est comparable à celui de la ZAP précédente, et celui de <i>Pinus strobus</i> (25 %) est moindre. Les pourcentages de <i>Picea</i> (6 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (5 %) sont faibles. CP : 360 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 6 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 47,39 ± 0,86° N. 84,22 ± 4,53° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -15,0 °C
<i>Pinus strobus</i>			
1a2 (n = 6) 5927-6485 AA 246-261 cm	Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente abruptement (40 %) et celui de <i>Betula</i> chute (15 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Populus</i> diminue, alors que celui des Cupressaceae augmente. CP : 230 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 5 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 48,00 ± 0,93° N. 87,70 ± 6,13° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -15,9 °C
CP min.-<i>Pinus banksiana</i>-<i>Betula</i>-<i>Populus</i>			
1a1 (n = 8) 6676-8039 AA 266-300 cm	Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Betula</i> domine la zone. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (25 à 10 %) diminue de la base au sommet alors que celui de <i>Betula</i> augmente (20 à 30 %). Le pollen de <i>Populus</i> (10 %) et des herbes (8 %) est abondant. <i>Picea</i> et <i>Pinus strobus</i> sont présents (8 %). CP : 57 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 700 à 2 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Bc1) 47,64 ± 1,14° N. 88,01 ± 5,77° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -15,1 °C
CLO — Clo (lac) : lat. 48° 30' N., long. 79° 21' O. (SBb secteur Ouest)			
<i>Betula</i>-<i>Picea</i>-<i>Pinus</i>-(<i>Abies</i>)			
2b (n = 7) 722-2911 AA 50-160 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (35-40 %) domine la ZAP. Le pourcentage des Cupressaceae chute (< 5 %) et celui de <i>Picea</i> augmente (> 10 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> augmente également (10 %). Le pollen d' <i>Abies</i> est continuellement présent (> 1,5 %). CP : 173 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 10 000 à 6 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bc2 (Aa1b-Bb3) 47,79 ± 1,12° N. 72,96 ± 3,98° O.	GDD5 : 1 200 °-jours MTCO : -15,3 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
Betula-Cupressaceae-Pinus			
2a2 (n = 7) 3411-6722 AA 180-290 cm	Cette ZAP est marquée par une augmentation abrupte puis une diminution du pollen des Cupressaceae (> 25 %). De la base au sommet, le pollen de <i>Betula</i> augmente pour atteindre 50 %. Le pourcentage de <i>Populus</i> est faible (2 %). Le pollen de <i>Picea</i> augmente légèrement (2 %), et celui de <i>Pinus strobus</i> oscille entre 5 et 15 %. Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant (6 %) jusqu'au sommet de la séquence. CP : 165 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 4 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 47,25 ± 0,77° N. 76,32 ± 5,36° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -14,5 °C
Betula-Populus-Pinus			
2a1 (n = 5) 7070-9324 AA 300-360 cm	Le pourcentage de <i>Betula</i> augmente (30 %) et celui de <i>Pinus banksiana</i> chute (< 10 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> est très faible (< 3 %). Le pollen de <i>Populus</i> est abondant (10 %). Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente au sommet de la ZAP (15 %). CP : 135 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 2 000 à 4 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc1-Bc2-Bb1 46,70 ± 0,58° N. 83,52 ± 5,77° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -13,7 °C
CP min.-Pinus banksiana-Betula-herbes			
1 (n = 10) > 9500 AA 380-550 cm	Cette ZAP pourrait être subdivisée en deux. Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (35-40 %) et des herbes (15-20 %) est abondant à la base, alors que le pollen de <i>Picea</i> (10 %), de <i>Populus</i> (> 5 %) et de <i>Salix</i> (> 2 %) est plus abondant vers le sommet. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> (5 %) et de <i>Betula</i> (10-15 %) est présent, et ce, plus ou moins uniformément. CP très faible : env. 9 000 gr·cm ⁻³ , TAP < 200 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 48,76 ± 1,29° N. 92,98 ± 2,83° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -16,8 °C
PFOND — lac Pas de Fond : lat. 48° 48' N., long. 78° 50' O. (SBb secteur Ouest)			
Picea-Pinus banksiana-Betula			
2b (n = 5) 172-3303 AA 12-124 cm	Le pourcentage de <i>Picea</i> (30 %) est maximal dans cette ZAP. De la base au sommet, le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (10 à 15 %) augmente, alors que celui de <i>Pinus strobus</i> (6 à 3 %), des Cupressaceae (10 à 1 %) et de <i>Betula</i> (25 à 15 %) diminue. Au sommet, un pic d' <i>Ambrosia</i> est visible. CP : 137 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue puis augmente : de 6 000 à 3 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹ , puis à 7 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Aa1b 48,63 ± 1,08° N. 79,43 ± 7,71° O.	GDD5 : 1 250 °-jours MTCO : -17,2 °C
Pinus strobus-Cupressaceae-Betula-Picea			
2a2 (n = 4) 4112-6315 AA 156-252 cm	Le pourcentage des Cupressaceae est maximal dans cette ZAP, et il oscille entre 5 et 20 %. Le pourcentage de <i>Picea</i> est plus élevé (15 %) et celui de <i>Betula</i> (22 %) se compare à la ZAP précédente. De la base au sommet, les pourcentages de <i>Pinus strobus</i> (15 à 5 %) et de <i>Populus</i> (5 à 2,5 %) diminuent. Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> est peu abondant (7 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> et d' <i>Abies</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 96 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 3 000 à 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 47,97 ± 0,72° N. 79,40 ± 7,62° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -15,8 °C
Betula-Pinus-Populus-(Larix)			
2a1 (n = 3) 6974-8179 AA 284-348 cm	Le pourcentage de <i>Betula</i> (25 %) augmente et celui de <i>Pinus banksiana</i> (10 %) diminue. Le pollen de <i>Picea</i> est plus abondant (5-10 %) ainsi que celui de <i>Populus</i> (7 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> augmente (5 à 15 %). Il y a un pic (10 %) de <i>Larix</i> à la base de la ZAP. CP : 49 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 2 000 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Bb1-Bc1) 47,70 ± 1,23° N. 82,88 ± 6,42° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -15,3 °C
CP min.-Pinus banksiana-Alnus crispa-Salix-herbes			
1 (n = 2) > 8500 AA 380-412 cm	Le pollen de <i>Pinus banksiana</i> domine l'assemblage. De la base au sommet, son pourcentage diminue (35 à 25 %). Le pollen herbacé (25 %) et arbustif (<i>Alnus crispa</i> et <i>Salix</i>) (15 %) est abondant. Le pourcentage de <i>Betula</i> , de <i>Picea</i> et de <i>Pinus strobus</i> est faible (± 5 %). CP : 6 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 250 à 450 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 49,20 ± 1,42° N. 93,80 ± 2,63° O.	GDD5 : 1 425 °-jours MTCO : -17,3 °C
SFS — Saint-François de Sales (lac) : lat. 48° 18' N., long. 72° 09' O. (SBb secteur Est)			
Betula-Pinus-Picea-(Abies)			
2b (n = 8) 190-4285 AA 5-175 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine la zone (70 %). Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> chute. On observe une légère augmentation du pourcentage de <i>Picea</i> (8,5 %) et d' <i>Abies</i> (1,5 %) à proximité du sommet de la ZAP. CP : 275 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue fortement : de 18 000 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 48,29 ± 2,30° N. 71,65 ± 5,37° O.	GDD5 : 1 150 °-jours MTCO : -15,5 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
2a2 (n = 8) 4843-7166 AA 200-310 cm	<i>Betula-Pinus strobus</i> L'assemblage pollinique de cette zone est très comparable à celui de la ZAP précédente. Ce qui distingue cette ZAP est un pourcentage plus élevé de <i>Betula</i> et un pourcentage plus faible de <i>Picea</i> (4 %) et de <i>Quercus</i> (< 1 %). CP : 236 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue puis augmente : env. 11 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 (Bb3) 47,39 ± 0,64° N. 72,18 ± 5,03° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -14,0 °C
2a1 (n = 3) 7466-8437 AA 325-375 cm	<i>Betula-Pinus strobus</i>-(<i>Quercus</i>) Le pollen de <i>Betula</i> (50 %) et de <i>Pinus strobus</i> (20 %) domine la ZAP. Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeure constant jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est très faible (1,5 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> diminue (6 %), tout comme celui de <i>Quercus</i> (2 %). CP : 183 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 8 500 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bb3 47,23 ± 0,55° N. 73,27 ± 3,83° O.	GDD5 : 1300 °-jours MTCO : -14,2 °C
1b (n = 11) 8905-10667 AA 400-500 cm	<i>Betula-Alnus crispa-Pinus-Picea-Quercus</i>-(<i>Populus</i>) De la base au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> augmente puis diminue (15 à 50 à 5 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> augmente (15 à 55 %). À la base, le pourcentage de <i>Picea</i> est de ± 15 % alors qu'au sommet il est < 10 %. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> chute (2,5 %) et celui de <i>Pinus strobus</i> diminue (20 à 5 %). Le pourcentage de <i>Quercus</i> diminue (3,5 %) et diminuera jusqu'au sommet de la séquence. C'est dans cette ZAP que le pourcentage de <i>Populus</i> (± 1,5 %) est maximal. CP : 76 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente abruptement : de 150 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 (Ab1-Bc1) 49,23 ± 2,51° N. 78,56 ± 7,51° O.	GDD5 : 1200 °-jours MTCO : -15,4 °C
1a (n = 10) > 10500 AA 505-576 cm	CP min.-<i>Pinus-Picea-Betula-Quercus-Alnus crispa</i> De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (40 à 15 %) et de <i>Picea</i> (14 à 7 %) diminue et celui de <i>Betula</i> (15 à 25 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (5 à 25 %) augmente. Le pollen de <i>Quercus</i> est relativement abondant (6 %). Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> oscille entre 5 et 15 %. CP : 3 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 70 à 400 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Bc1) 48,01 ± 1,14° N. 87,04 ± 5,39° O.	GDD5 : 1350 °-jours MTCO : -15,2 °C
PRU — Prudent (Iac) : lat. 48° 18' N., long. 72° 03' O. (SBb secteur Est)			
2b (n = 9) 416-3368 AA 20-115 cm	<i>Betula-Picea-Pinus</i> Cette ZAP est dominée par le pollen de <i>Betula</i> (60 %). Le pourcentage des <i>Pinus</i> est faible (< 15 %) et celui de <i>Picea</i> (15 %) est légèrement plus élevé que dans la ZAP précédente. On note également une légère augmentation (1,5-2 %) du pourcentage d' <i>Abies</i> , de <i>Quercus</i> et d' <i>Alnus crispa</i> en comparaison à la ZAP précédente. CP : 200 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 4 500 et 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 (Aa2c) 47,88 ± 0,63° N. 68,93 ± 3,33° O.	GDD5 : 1150 °-jours MTCO : -13,8 °C
2a2b (n = 4) 3772-5329 AA 125-160 cm	<i>Betula-Pinus strobus</i> De la base au sommet, les pourcentages de tous les <i>Pinus</i> chutent (20 %) alors que celui de <i>Betula</i> augmente (60 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> est faible (10 %). CP : 240 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 5 000 à 7 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,58 ± 0,63° N. 71,09 ± 6,42° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -13,4 °C
2a2a (n = 4) 6063-7764 AA 175-207 cm	<i>Pinus strobus-Betula</i> Le début de cette ZAP est marqué par une augmentation du pollen de <i>Pinus strobus</i> (15 %) (<i>Pinus</i> : 10 %, <i>Pinus banksiana</i> : 7 %) et une diminution de <i>Betula</i> (35 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> (1,5 %) chute et celui d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeure plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 182 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 2 500 à 4 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 (Bc2-Bc1) 47,26 ± 0,46° N. 75,44 ± 6,69° O.	GDD5 : 1300 °-jours MTCO : -13,8 °C
2a1 (n = 5) 8219-10338 AA 215-250 cm	<i>Betula-Picea-Pinus-Abies-Quercus</i> Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> (5 %) chute et celui de <i>Betula</i> (55 %) augmente abruptement. Le pourcentage d' <i>Abies</i> (± 5 %) est maximal dans cette ZAP. Le pollen de <i>Quercus</i> est moins abondant (< 3 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> et de <i>Pinus</i> est faible. CP : 140 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins constant : env. 2 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,76 ± 0,34° N. 69,52 ± 5,97° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -12,9 °C
1b (n = 2) > 10500 AA 260-265 cm	<i>Alnus crispa-Betula-Picea-Pinus-Quercus</i> Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> (35-40 %) domine la ZAP. <i>Betula</i> est de nouveau abondant (30 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> et de <i>Pinus strobus</i> chute (< 5 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> (12 %) et de <i>Quercus</i> (3 %) est faible. CP : 164 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 2 400 à 2 800 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 53,67 ± 6,85° N. 76,21 ± 15,65° O.	GDD5 : 750 °-jours MTCO : -18,7 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
CP min.-Betula-Pinus-Picea-Quercus			
1a (n = 4) > 10500 AA 275-300 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (30 %) et de <i>Pinus strobus</i> (15 %) est abondant à la base, puis diminue. À l'inverse, le pourcentage de <i>Picea</i> (25 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (25 %) est plus élevé au sommet. Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est plus ou moins constant (15 %). Le pollen de <i>Quercus</i> est relativement abondant (5 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> est faible (1 %). Le pollen herbacé et <i>Salix</i> sont présents. CP : 24000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 60 à 100 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Aa1a-Aa1b 52,10 ± 2,35° N. 89,97 ± 5,12° O.	GDD5 : 1050 °-jours MTCO : -19,8 °C
COUCH – Couchepaganiche (centre) (lac) : lat. 48° 22' N., long. 71° 51' O. (SBb secteur Est)			
Betula-Pinus-Picea-Abies			
2b (n = 11) 136-2937 AA 5-400 cm	Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> diminue progressivement (< 15 %) et celui de <i>Picea</i> augmente (> 10 %). Le pollen d' <i>Abies</i> est de nouveau abondant (> 2 %). Le pourcentage de <i>Betula</i> est légèrement plus faible que dans la ZAP précédente (30 %). Un léger pic d' <i>Ambrosia</i> est visible en surface. CP : 172000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 20000 à 25000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bc2 47,79 ± 0,62° N. 73,98 ± 3,35° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -15,6 °C
Betula-Pinus strobus			
2a (n = 8) 3332-6679 AA 440-720 cm	Le pollen de <i>Pinus strobus</i> est maximal à la base (25 %), puis diminue vers le sommet. Le pollen de <i>Betula</i> est abondant (35 %). Le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage d' <i>Abies</i> chute (< 1,5 %) ainsi que celui de <i>Picea</i> (< 5 %). CP : 266000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins constant : env. 22000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bc2 47,36 ± 0,51° N. 77,10 ± 5,42° O.	GDD5 : 1350 °-jours MTCO : -14,6 °C
Betula-Picea-Pinus-Abies-Larix			
1b (n = 5) 7240-8732 AA 760-860 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine la ZAP (45-50 %). Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> chute (< 10 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> diminue et celui de <i>Pinus strobus</i> augmente. Le pollen d' <i>Abies</i> est abondant (> 4 %) et celui de <i>Larix</i> est continuellement présent (1,5 %). CP : 224000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 10000 à 20000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 (Ab1-Aa2c) 47,76 ± 1,07° N. 69,40 ± 5,67° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -13,0 °C
Alnus crispa-Betula-Picea-Pinus-Quercus-Populus			
1a (n = 3) 9046-9607 AA 880-915 cm	L'assemblage pollinique basal est dominé par <i>Pinus banksiana</i> (27 %), le suivant par <i>Alnus crispa</i> (44 %) et le pourcentage de <i>Quercus</i> (8 %) et de <i>Populus</i> (4 %) est plus élevé dans l'assemblage pollinique au sommet de la ZAP. Le pollen de <i>Betula</i> et de <i>Picea</i> oscille entre 10 et 15 %. CP : 104000 gr·cm ⁻³ , TAP env. 6000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Aa1a-Ab1 (Aa1b-Bc2) 51,64 ± 2,56° N. 81,64 ± 7,83° O.	GDD5 : 900 °-jours MTCO : -19,7 °C
FLEVY - lac Flévy : lat. 48° 13' N., long. 71° 13' O. (SBb secteur Est)			
Betula-Picea-Pinus-Abies			
3b (n = 13) 0-3883 AA 0-240 cm	De la base au sommet, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (10 à 5 %) et de <i>Betula</i> diminue et celui de <i>Picea</i> (5 à 15 %) et d' <i>Abies</i> (2 à 4 %) augmente. Il y a également une légère augmentation du pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (1 à 3 %) vers le sommet. CP : 154000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue fortement : de 45000 à 4000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,64 ± 0,64° N. 69,61 ± 2,71° O.	GDD5 : 1150 °-jours MTCO : -14,2 °C
Betula-Pinus strobus			
3a2 (n = 7) 3987-5100 AA 260-380 cm	La représentation pollinique de cette zone est très comparable à la précédente. Elle se distingue de la ZAP 3a1 par une légère augmentation du pollen de <i>Picea</i> (> 3 %) et une diminution de <i>Pinus strobus</i> (12 %). Le pourcentage d' <i>Acer saccharum</i> oscille entre 0,5 et 1,5 %. CP : 247000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 16000 à 50000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	(Bb3) Bb1 47,51 ± 0,69° N. 71,27 ± 4,11° O.	GDD5 : 1250 °-jours MTCO : -14,1 °C
Betula-Pinus strobus-Pinus banksiana-Tsuga			
3a1 (n = 4) 5449-6958 AA 400-460 cm	Le pollen de <i>Betula</i> est très abondant (60 %). Le pollen de <i>Pinus strobus</i> oscille entre 10 et 20 %. Le pourcentage de <i>Picea</i> est minimal dans cette ZAP (< 2,5 %). On observe un déclin du pourcentage de <i>Tsuga</i> dans cette zone (1,5 à 0,5 %). Le pourcentage de <i>Populus</i> est très faible (< 0,5 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera constant jusqu'au sommet de la séquence. CP : 230000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente légèrement : de 7000 à 10000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bb3 47,24 ± 0,67° N. 72,45 ± 5,26° O.	GDD5 : 1300 °-jours MTCO : -13,5 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
Betula-Picea-Quercus-(Taxus)			
2 (n = 4) 7645-10377 AA 480-540 cm	Cette zone est marquée par une chute d' <i>Alnus crispa</i> (< 10 %) et par une augmentation abrupte de <i>Betula</i> (60 %). De la base au sommet, <i>Picea</i> diminue et <i>Pinus strobus</i> augmente. Le pollen de <i>Populus</i> est moins abondant (1,5 %). <i>Taxus</i> est présent (1 %). Il y a un pic d' <i>Abies</i> (6 %) à la base de la ZAP. Le pourcentage de <i>Quercus</i> est comparable à la zone précédente et celui de <i>Populus</i> est moins abondant (1,5 %). CP : 300 000 gr·cm ⁻³ , TAP plus ou moins stable : env. 6 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,55 ± 0,78° N. 68,96 ± 2,84° O.	GDD5 : 1 200 °-jours MTCO : -14,0 °C
1 (n = 4) > 10 500 AA 550-576 cm	Alnus crispa-Betula-Picea-Populus-Pinus <i>Pinus banksiana</i> (15 %) est abondant à la base, suivi par un pic de <i>Picea</i> (15 %), puis d' <i>Alnus crispa</i> (70 %). Le pollen de <i>Populus</i> et de <i>Quercus</i> est présent (3,5 %). CP : 234 000 gr·cm ⁻³ , TAP < 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 51,56 ± 5,20° N. 75,30 ± 6,44° O.	GDD5 : 950 °-jours MTCO : -16,9 °C
VAL1 — Mont Valin 1 (lac) : lat. 48° 36' N., long. 70° 50' O. (SBb secteur Est)			
Betula-Pinus-Picea-Abies			
2b (n = 9) 550-5441 AA 11-175 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine toujours la ZAP. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est faible (< 10 %) et constant. Cette zone est principalement marquée par une augmentation du pourcentage d' <i>Abies</i> (3 %), de <i>Picea</i> (8,5 %) et de Cyperaceae (4 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> chute (2,5 %) et celui de <i>Pinus strobus</i> diminue de la base au sommet (10 à 5 %). CP : 320 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue fortement : de 25 000 à 5 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,65 ± 0,44° N. 69,34 ± 4,53° O.	GDD5 : 1 250 °-jours MTCO : -13,5 °C
Betula-Pinus-Alnus crispa			
2a (n = 3) 5873-6774 AA 200-250 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (50 %) domine la ZAP. De la base au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> diminue (16 à 6 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et augmentera légèrement jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (8 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (7 %) augmente. Le pollen de <i>Picea</i> est toujours peu abondant (3 %) et celui de Cyperaceae est présent en traces. CP : 310 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 11 000 à 20 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 49,50 ± 4,91° N. 75,38 ± 11,99° O.	GDD5 : 1 200 °-jours MTCO : -15,2 °C
Alnus crispa-Betula			
1b (n = 6) 7090-8725 AA 265-324 cm	Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> domine la ZAP. Toutefois, son pourcentage diminue de la base au sommet (55 à 35 %) alors que celui de <i>Betula</i> augmente (20 à 35 %). Le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (5 %) augmente légèrement, et celui de <i>Quercus</i> diminue (< 2 %). Le pollen de <i>Populus</i> et des Cupressaceae est présent en traces. Parmi les herbes, le pollen de Cyperaceae est moyennement abondant (2 %). CP : 340 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 7 000 à 14 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 (Bb1) 49,92 ± 6,59° N. 71,06 ± 12,58° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -13,4 °C
Betula-Alnus crispa-Cupressaceae-Quercus-Populus			
1a2 (n = 4) 9315-10891 AA 340-375 cm	Cette ZAP se distingue de la précédente par une meilleure représentation du pollen des Cupressaceae (3 %), de <i>Populus</i> (2,5 %) et de <i>Quercus</i> (5 %). Le pollen des herbes (10 %), de tous les <i>Pinus</i> (8 %) et de <i>Picea</i> (< 3 %) est moins abondant. De la base au sommet, le pollen d' <i>Alnus crispa</i> augmente (15 à 30 %) et celui de <i>Betula</i> diminue (40 à 30 %). CP : 72 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 800 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Ab1 (Bb1-Bc1) 51,23 ± 4,37° N. 79,82 ± 12,54° O.	GDD5 : 1 100 °-jours MTCO : -16,2 °C
CP min.-Betula-herbes-Alnus crispa-(Quercus)			
1a1 (n = 3) > 11 000 AA 380-390 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (30 %) domine la ZAP. Les herbes sont abondantes (20 %). Le pourcentage de <i>Pinus</i> oscille entre 10 et 25 % et celui de <i>Quercus</i> entre 2,5 et 6,5 %. Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> (10 %), de <i>Picea</i> (3,5 %) et de <i>Populus</i> (1 %) est présent. Des traces de pollen de Cupressaceae sont présentes. CP : 17 000 gr·cm ⁻³ , TAP : 300 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc1-Bc2 (Bb1) 47,32 ± 0,85° N. 87,12 ± 4,31° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -13,7 °C
LOUIS — lac Louis : lat. 47° 17' N., long. 79° 07' O. (SBj secteur Ouest)			
Pinus-Betula-Picea-Acer			
2b2b (n = 18) 63-3511 AA 3-170 cm	<i>Pinus</i> et <i>Betula</i> dominent toujours l'assemblage. Le pourcentage de <i>Pinus</i> oscille entre 35 et 50 % et celui de <i>Betula</i> entre 25 et 40 %. Le pollen de <i>Picea</i> est plus abondant (7 %). Le pollen d' <i>Acer</i> est continuellement présent (0,4-1,4 %). CP et TAP non disponibles	Bc1-Bc2-Bb1 47,04 ± 0,54° N. 82,31 ± 7,20° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -12,9 °C
Pinus-Betula-Picea			
2b2a (n = 6) 3710-4694 AA 180-230 cm	Le pourcentage de <i>Pinus</i> diminue (50 %) et celui de <i>Betula</i> augmente (35 %). De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> augmente légèrement (3 à 5 %). CP et TAP non disponibles	Bc1-Bc2 46,89 ± 0,48° N. 85,60 ± 4,43° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -12,9 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
2b1 (n = 6) 4888-5846 AA 240-290 cm	<i>Pinus-Betula</i> Cette zone est marquée par une diminution du pourcentage de <i>Pinus</i> (60 %) et par une augmentation progressive du pollen de <i>Betula</i> (15 à 25 %). Le pollen de <i>Picea</i> est peu abondant (3,5 %). CP et TAP non disponibles	Bc2-Bc1 47,48 ± 1,31° N. 86,66 ± 5,11° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -13,9 °C
2a2 (n = 6) 6035-6969 AA 300-350 cm	<i>Pinus</i> Le pollen de <i>Pinus</i> domine la zone (80 %). Le pollen de <i>Betula</i> est peu abondant (6 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> et d' <i>Alnus</i> est < 5 %. Le pollen des Cupressaceae est absent. CP et TAP non disponibles	Bc2 49,88 ± 1,70° N. 91,92 ± 4,64° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -18,1 °C
2a1b (n = 11) 7153-8950 AA 360-460 cm	<i>Pinus-Betula-Picea-Alnus-(Abies)</i> Le pollen de <i>Pinus</i> est abondant (65 %). Le pourcentage de <i>Picea</i> diminue (< 10 %). Le pollen de <i>Betula</i> est plus abondant au sommet de la ZAP (> 15 %). Les Cupressaceae (0,5 %) et <i>Quercus</i> (1,5 %) sont peu abondants. Le pourcentage d' <i>Alnus</i> est légèrement plus élevé (> 5 %). Le pourcentage d' <i>Abies</i> oscille entre 0 et 1 %. CP et TAP non disponibles	Bc2 (Bc1) 48,82 ± 1,50° N. 90,15 ± 4,61° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -16,5 °C
2a1a (n = 3) 9125-9473 AA 470-490 cm	<i>Pinus-Picea-Betula-(Abies)</i> De la base au sommet, le pourcentage de <i>Picea</i> (sommet : 15 %), de <i>Quercus</i> (4 %) et des herbes (5 %) diminue, celui de <i>Pinus</i> augmente (sommet : 55 %) et celui des Cupressaceae (< 3 %) chute. Le pollen de <i>Populus</i> est absent. Le pourcentage de <i>Betula</i> est comparable à la ZAP précédente. <i>Abies</i> est présent en traces. CP et TAP non disponibles	Bc2 49,25 ± 1,09° N. 88,38 ± 3,95° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -17,7 °C
1 (n = 6) > 9500 AA 500-550 cm	<i>Pinus-Picea-Betula-Cupressaceae-Quercus-Larix-Populus</i> Le pollen de <i>Pinus</i> (25 %) et de <i>Picea</i> (20 %) est abondant. Les Cupressaceae (9 %), <i>Betula</i> (13 %), <i>Quercus</i> (6 %) et les herbes (12 %) sont moyennement abondants. <i>Populus</i> est présent (< 2 %). Le pollen d' <i>Alnus</i> est peu abondant (< 5 %). CP et TAP non disponibles	Bc2 (Aa1b) 48,90 ± 1,24° N. 86,42 ± 4,62° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -17,1 °C
CGC27 — lac Neume : lat. 47° 35' N., long. 77° 07' O. (SBj secteur Ouest)			
2b2 (n = 8) 81-2536 AA 10-140 cm	<i>Pinus-Betula-Picea-Abies-(Acer)</i> Le pourcentage de <i>Picea</i> est maximal à la base de la ZAP (13 %) puis il diminue. <i>Pinus strobus</i> diminue également et atteint 10 % en surface. En contre-partie, le pollen de <i>Pinus banksiana</i> (10 %) et d' <i>Abies</i> (> 1,5 %) augmente. Le pollen d' <i>Acer</i> est continuellement présent, mais en traces (0,5 %). CP : 217 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 13 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 47,51 ± 0,64° N. 76,96 ± 6,03° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -15,1 °C
2b1 (n = 3) 2947-3795 AA 160-200 cm	<i>Betula-Pinus strobus</i> Le pourcentage du pollen de <i>Betula</i> est comparable à la ZAP précédente, alors que celui de <i>Pinus strobus</i> est plus faible (20 %). Les pourcentages de <i>Picea</i> et de <i>Pinus banksiana</i> augmentent légèrement (> 5 %). CP : 320 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 18 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1 (Bb3) 47,33 ± 0,46° N. 76,63 ± 5,50° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -14,8 °C
2a2 (n = 4) 4231-5595 AA 220-280 cm	<i>Pinus strobus-Betula</i> Cette ZAP se caractérise par une diminution graduelle de <i>Pinus strobus</i> (35 %) et une augmentation du pollen de <i>Betula</i> (30 %). On note une légère augmentation du pollen des Cupressaceae (> 1,5 %). Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est minimal (3,5 %). CP : 309 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 11 000 à 17 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1-Bc1 47,05 ± 0,68° N. 79,18 ± 6,92° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -14,3 °C
2a1 (n = 3) 6067-7038 AA 300-340 cm	<i>Pinus strobus</i> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte du pollen de <i>Pinus strobus</i> (45 %) et par une chute du pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> (< 3 %) et de <i>Betula</i> (< 15 %), et dans une moindre importance, de <i>Populus</i> et de <i>Quercus</i> (< 3 %). <i>Abies</i> est également moins abondant (< 0,5 %). CP : 215 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 8 000 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bc1 47,12 ± 0,76° N. 87,60 ± 4,57° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -13,5 °C
1b (n = 6) 7537-9085 AA 360-420 cm	<i>Pinus banksiana-Betula-Alnus crispa-Abies-Populus</i> Le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> est comparable à celui de la ZAP précédente, alors que celui de <i>Betula</i> oscille entre 15 et 30 %. Les pourcentages de <i>Populus</i> et de <i>Quercus</i> diminuent (4 %). Le pollen d' <i>Alnus crispa</i> est abondant (10-15 %) et le pollen d' <i>Abies</i> est présent (1,5 %). CP : 177 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 6 000 à 8 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2 (Bc1) 47,54 ± 0,92° N. 83,80 ± 5,66° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -14,8 °C

Annexe 7. (suite)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
CP min.-Betula-Pinus-Cupressaceae-Myrica-Quercus-Populus			
1a (n = 7) > 9500 AA 440-470 cm	Le pollen de cette ZAP est diversifié. Le pollen de <i>Betula</i> (20 %) et de <i>Pinus (banksiana)</i> (15 %) domine les assemblages. Le pollen de <i>Quercus</i> , de <i>Pinus strobus</i> et des herbes est abondant à la base (> 10 %) de la ZAP alors que celui des Cupressaceae (<i>Juniperus</i>), de <i>Populus</i> et de <i>Myrica</i> est plus abondant au sommet (> 10 %). CP : 49 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 1 000 à 3 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bc1 47,62 ± 1,72° N. 88,70 ± 5,91° O.	GDD5 : 1 500 °-jours MTCO : -14,3 °C
BRIDE — lac Bride : lat. 47° 19' N., long. 74° 31' O. (SBj secteur Est)			
Betula-Picea			
2b2 (n = 4) 870-3 118 AA 25-80 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine la ZAP (50 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> (10 %) et de <i>Picea</i> (> 6 %) augmente légèrement vers le sommet de la ZAP, alors que celui de <i>Pinus strobus</i> diminue (< 5 %). Le pollen d' <i>Abies</i> (> 2 %) est légèrement plus abondant que dans la ZAP précédente. CP : 740 000 gr·cm ⁻³ , TAP diminue : de 25 000 à 10 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1 47,24 ± 0,73° N. 71,42 ± 0,69° O.	GDD5 : 1 150 °-jours MTCO : -15,0 °C
Betula-Pinus strobus			
2b1 (n = 3) 3892-5371 AA 100-140 cm	Le début de la ZAP est marqué par une chute de <i>Pinus strobus</i> (10 %) et une augmentation de <i>Betula</i> (60 %). Les pourcentages de <i>Pinus banksiana</i> , de <i>Picea</i> et d' <i>Alnus crispa</i> sont très faibles (< 3 %). À la base de la ZAP, le pourcentage d' <i>Alnus incana</i> augmente (5 %). CP : 740 000 gr·cm ⁻³ , TAP constant : env. 21 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bb3 47,24 ± 0,77° N. 73,53 ± 3,16° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -15,0 °C
Pinus strobus-Betula-Pinus banksiana-(Acer)			
2a (n = 7) 5726-8048 AA 150-220 cm	Cette ZAP est dominée par <i>Pinus strobus</i> (30 %). De la base au sommet, <i>Pinus banksiana</i> diminue et <i>Pinus strobus</i> augmente. Les pourcentages d' <i>Alnus crispa</i> (< 2 %) et d' <i>Abies</i> (< 1 %) sont faibles. Les pourcentages d' <i>Acer</i> et de <i>Tsuga</i> augmentent et seront maximaux au sommet de la ZAP (<i>Acer</i> : 1,3 %, <i>Tsuga</i> : 3,5 %), tout comme celui de <i>Betula</i> (45 %). CP : 541 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente au sommet : de 15 000 à 20 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bc1-Bb1-Bb3 46,77 ± 0,56° N. 80,95 ± 6,19° O.	GDD5 : 1 450 °-jours MTCO : -13,5 °C
Pinus banksiana-Betula-Alnus crispa-Abies			
1b (n = 7) 8660-10620 AA 240-310 cm	Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte d' <i>Alnus crispa</i> (20 %) suivi de <i>Betula</i> (> 35 %). Par la suite, les pourcentages de ces 2 taxons diminuent, ainsi que celui de <i>Picea</i> . Au sommet, le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est plus faible (< 10 %), et ceux de <i>Betula</i> et de <i>Picea</i> diminuent (< 20 % et < 5 %, respectivement). Au même moment, <i>Pinus banksiana</i> augmente (15 à 40 %). Le pollen d' <i>Abies</i> est abondant (< 3 %). CP : 389 000 gr·cm ⁻³ , TAP augmente : de 10 000 à 15 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1-Bc1 (Ab1) 48,30 ± 2,54° N. 78,23 ± 8,68° O.	GDD5 : 1 300 °-jours MTCO : -15,0 °C
CP min.-Betula-Pinus-Picea-Quercus-Populus			
1a (n = 3) > 10500 AA 320-335 cm	Cette ZAP est caractérisée par un fort pourcentage de <i>Quercus</i> (> 10 %), de <i>Populus</i> (> 6 %) et d' <i>Ulmus</i> (> 3 %). De la base au sommet, <i>Pinus banksiana</i> diminue (20 à 15 %) et <i>Betula</i> (10 à 20 %) et <i>Picea</i> (5 à 10 %) augmentent. CP faible : 40 000 à 90 000 gr·cm ⁻³ , TAP : env. 2 500 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bc1 47,47 ± 1,48° N. 89,47 ± 4,99° O.	GDD5 : 1 500 °-jours MTCO : -14,0 °C
MART — lac Martini : lat. 47° 28' N., long. 72° 46' O. (SBj secteur Est)			
Betula-Pinus-Picea-(Abies)			
2b2 (n = 9) 114-2359 AA 0-160 cm	Le pollen de <i>Betula</i> domine la ZAP (35-40 %). En comparaison à la ZAP précédente, le pourcentage de <i>Pinus strobus</i> (< 20 %) est plus faible, et ceux de <i>Picea</i> (7 %), de <i>Pinus banksiana</i> (5 %), d' <i>Abies</i> (2,5 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (1,5 %) sont plus élevés. CP : 261 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 11 000 et 38 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bc2 (Bb3-Bc1) 47,11 ± 0,51° N. 75,05 ± 5,36° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -14,2 °C
Betula-Pinus strobus			
2b1 (n = 8) 2735-5964 AA 180-320 cm	Le pollen de <i>Betula</i> (40 %) et de <i>Pinus strobus</i> (25 %) domine la ZAP. Le pourcentage de <i>Pinus</i> « non distingué » (15 %) est important. Les pourcentages de <i>Picea</i> (3,5 %), de <i>Pinus banksiana</i> (2 %) et d' <i>Alnus crispa</i> (0,5 %) sont très faibles. Le pourcentage de <i>Tsuga</i> chute. CP : 317 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 10 000 et 21 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bb1-Bb3 (Bc2-Bc1) 47,01 ± 0,58° N. 77,04 ± 6,64° O.	GDD5 : 1 350 °-jours MTCO : -14,0 °C
Pinus strobus-Betula			
2a (n = 5) 6498-7650 AA 340-380 cm	De la base au sommet, <i>Pinus strobus</i> augmente (10 à 30 %) et le pourcentage de <i>Pinus banksiana</i> (10 à 5 %) diminue. Le pourcentage de <i>Betula</i> oscille entre 20 et 30 %. Le pourcentage d' <i>Alnus crispa</i> est très faible (2 %). Le pollen d' <i>Alnus incana</i> augmente et demeurera plus ou moins constant jusqu'au sommet de la séquence. Le pourcentage d' <i>Abies</i> est plus faible que dans la ZAP précédente (± 1 %). Un pic de <i>Tsuga</i> (12 %) est observé au sommet. CP : 316 000 gr·cm ⁻³ , TAP oscille entre 7 000 et 14 000 gr·cm ⁻² ·an ⁻¹	Bc2-Bb1-Bc1 47,03 ± 0,82° N. 80,47 ± 7,98° O.	GDD5 : 1 400 °-jours MTCO : -14,1 °C

Annexe 7. (suite et fin)

ZAP Âge (années AA) Profondeur (cm)	Nom et description CP moyenne et TAP	Groupe K-means Latitude (° N.) Longitude (° O.)	GDD5 (°-jours) MTCO (°C)
1b (n = 7) 7951-9868 AA 390-450 cm	<i>Betula-Alnus crispa-Pinus banksiana-Abies-Myrica</i> Le début de la ZAP est marqué par une augmentation abrupte de <i>Picea</i> (20 %) et d'<i>Alnus crispa</i> (34 %), suivi de <i>Betula</i> (45 %) et de <i>Pinus banksiana</i> (20 %). Les pourcentages de ces taxons diminuent par la suite jusqu'au sommet de la ZAP (<i>Picea</i> : 6 %, <i>Alnus crispa</i> : 10 %, <i>Betula</i> : 35 %, <i>Pinus banksiana</i> : 15 %). Les pourcentages de <i>Populus</i>, de <i>Quercus</i>, de <i>Salix</i> et des herbes sont très faibles (< 5 %). Le pollen d'<i>Abies</i> et de <i>Myrica</i> est présent ($\pm 2,5$ %). CP : 318000 gr·cm⁻³, TAP augmente puis diminue : de 5000 à 15000 gr·cm⁻²·an⁻¹, puis à 5000 gr·cm⁻²·an⁻¹	Bc2-Bb1 (Aa1a-Ab1) 48,88 $\pm$ 1,69° N. 75,72 $\pm$ 7,24° O.	GDD5 : 1200 °-jours MTCO : -15,1 °C
1a (n = 5) > 10000 AA 460-496 cm	CP min.-<i>Pinus-Picea-Quercus-Populus</i> De sommet à la base, les pourcentages de <i>Pinus banksiana</i> (20 à 10 %) et de <i>Picea</i> (20 à 5 %) diminuent, alors que ceux de <i>Populus</i> (5 à 15 %) et de <i>Quercus</i> (5 à 10 %) augmentent. Le pourcentage de <i>Betula</i> est plus ou moins constant (13 %). Le pollen de Cupressaceae, de <i>Salix</i> et des herbes est présent. Le pourcentage d'<i>Alnus crispa</i> est faible (< 5 %). CP faible : 37000 gr·cm⁻³, TAP augmente : de 500 à 2000 gr·cm⁻²·an⁻¹	Bc2-Bc1 48,58 $\pm$ 2,04° N. 88,21 $\pm$ 7,71° O.	GDD5 : 1400 °-jours MTCO : -16,2 °C

Annexe 8. Précision (r^2 et RMSE) de la technique de reconstitution climatique. L'information est donnée pour les variables reconstituées aux figures 19 et 20 : température du mois le plus chaud (MTWA), température du mois le plus froid (MTCO), degrés-jours au-dessus de 5 °C (GDD5), précipitations annuelles totales (PANN) et ensoleillement estival (SJJA).

Variable	r^2	RMSE
MTWA	0,90	1,2 °C
MTCO	0,88	2,2 °C
GDD5	0,91	159 °-jours
PANN	0,82	120 mm
SJJA	0,92	2,5 %

Annexe 9. Cartes de la répartition des sites modernes avec un assemblage pollinique comparable à celui des sites postglaciaires de l'ouest du Québec, par domaine bioclimatique et par secteur. a) PL secteur Sud : site LG412; b) PM secteur Ouest : site PESS; c) PM secteur Est : site CH2; d) SBb secteur Ouest : site FRANC; e) SBb secteur Est : site PRU; f) SBj secteur Ouest : site CGC27; g) SBj secteur Est : site MART. Dans la légende des ZAP, les taxons en caractères gras sont les taxons clés utilisés pour désigner les différentes provinces polliniques (figure 16). Ils sont repris sur les cartes.

Pour chaque site, l'emplacement des assemblages modernes est présenté par zone d'assemblage pollinique (ZAP), et la valeur moyenne de la dissimilarité maximale (SCD_{max} , c.-à-d. celle du 5^e analogue) entre les analogues modernes et les assemblages postglaciaires est donnée. Sur les cartes, le nom de la province pollinique (voir la figure 16) à laquelle appartient la ZAP est donné. L'information sur les groupes K-means associés aux analogues modernes est livrée au supplément 4, la végétation reconstituée à l'époque des ZAP est présentée à la figure 17, et les ZAP sont décrites sommairement au tableau 4. Sur chacune des cartes, la fréquence de sélection d'un site moderne comme analogue est proportionnelle à la surface des cercles illustrés.

Pour chaque assemblage postglaciaire, la reconstitution climatique a toujours été faite en retenant 5 assemblages modernes. Supposons une ZAP comportant 3 assemblages polliniques. Si un assemblage de la base de données modernes est toujours retenu pour la reconstitution du climat des assemblages postglaciaires de la ZAP ($n = 3$), sa fréquence de sélection comme analogue est de 20 % (3/15 ou 1/5). Si l'assemblage moderne n'a été retenu que pour un assemblage postglaciaire de la ZAP, sa fréquence de sélection est de 7 % (1/15), et ainsi de suite. Les sites retenus pour l'illustration de la provenance des analogues modernes sont les mêmes que ceux des figures 12 et 13. Il n'y a toutefois aucune carte pour le secteur Nord de la PL (LG409).

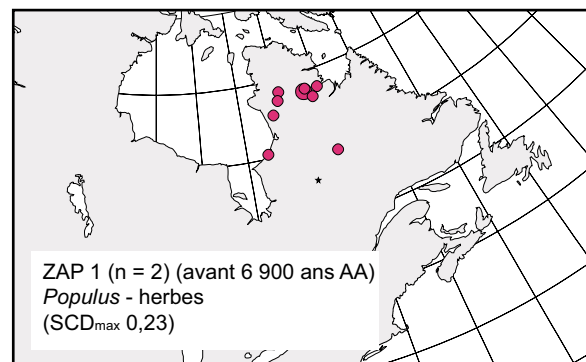
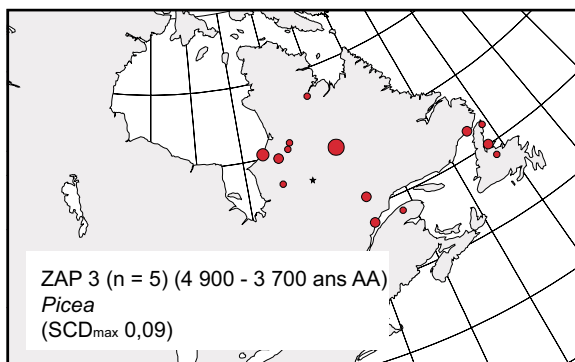
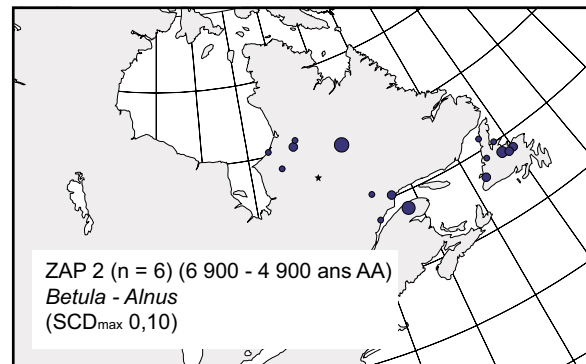
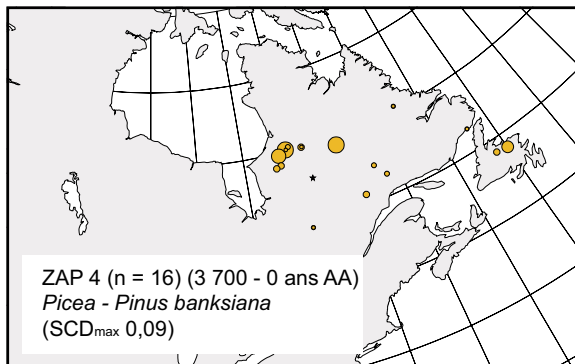
a) PL secteur Sud
Répartition des analogues
des ZAP du site **LG412**

Légende des ZAP

- ★ LG412
- ZAP-4 (*Picea* - *Betula* - *Alnus* - *Pinus banksiana*)
- ZAP-3 (*Picea* - *Betula* - *Alnus*)
- ZAP-2 (*Betula* - *Picea* - *Alnus*)
- ZAP-1 (*Betula* - *Alnus* - *Populus* - *herbes*)

Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2



Annexe 9. (suite)

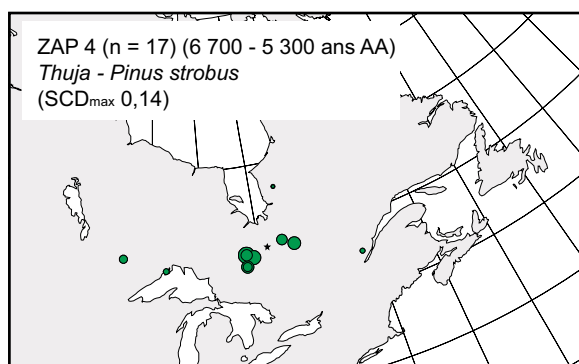
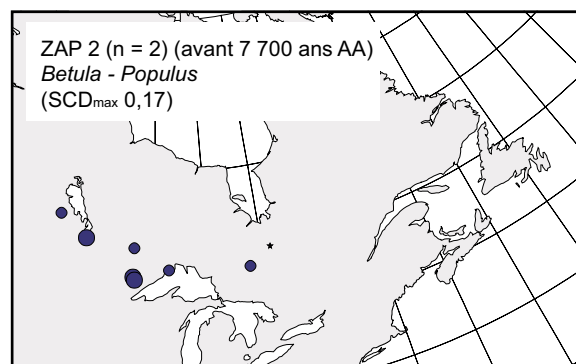
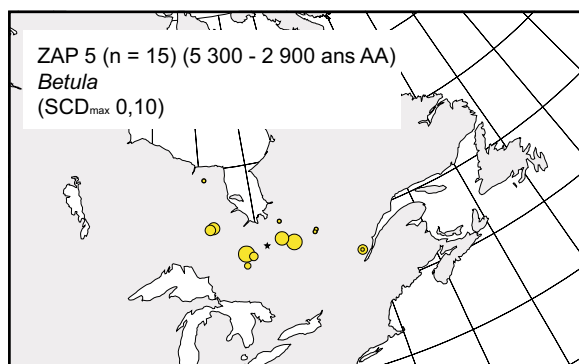
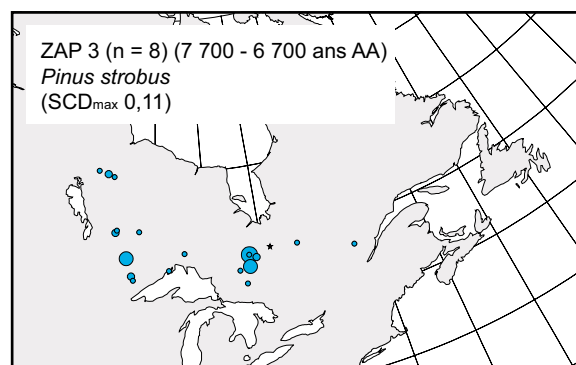
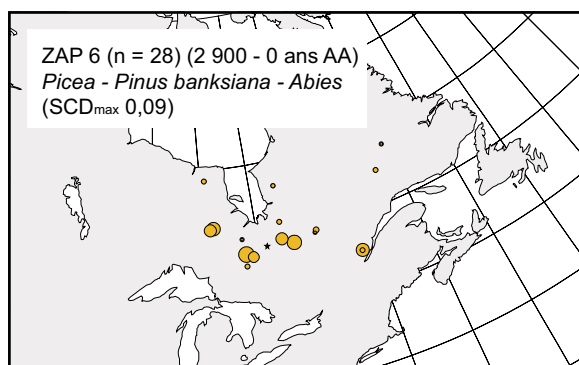
b) PM secteur Ouest
Répartition des analogues
des ZAP du site **PESS**

Légende des ZAP

- ★ PESS
- ZAP-6 (*Picea* - *Betula* - *Pinus banksiana* - *Abies*)
- ZAP-5 (*Picea* - *Betula* - *Pinus strobus* - *Pinus banksiana*)
- ZAP-4 (*Picea* - *Pinus strobus* - *Thuja*)
- ZAP-3 (*Picea* - *Pinus strobus* - *Pinus banksiana*)
- ZAP-2 (*Betula* - *Pinus bank.* - *Picea* - *Populus* - [*Quercus* - *Abies*])
- ZAP-1 (herbes - *Pinus banksiana* - *Picea* - *Betula*)

Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2



La ZAP 1 est absente au site PESS

Annexe 9. (suite)

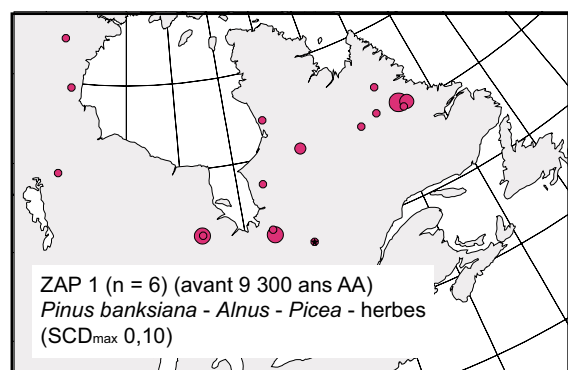
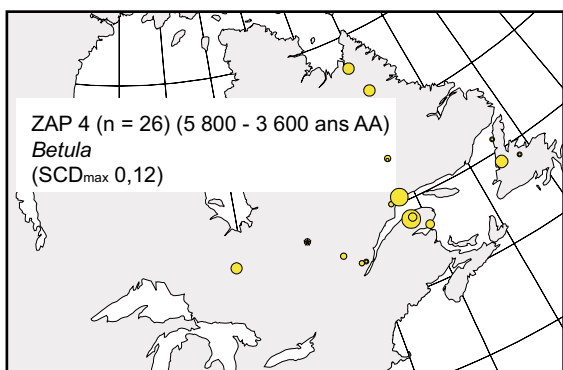
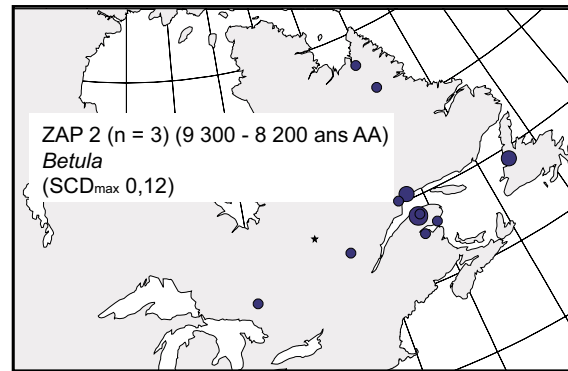
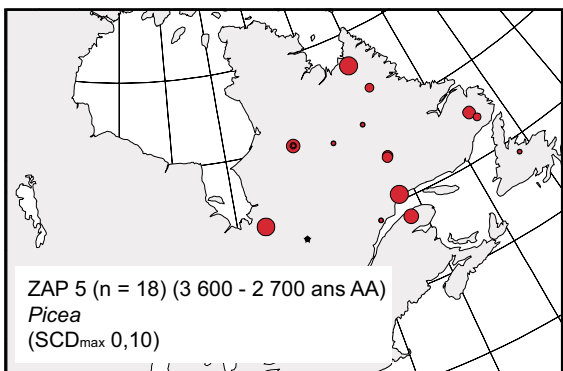
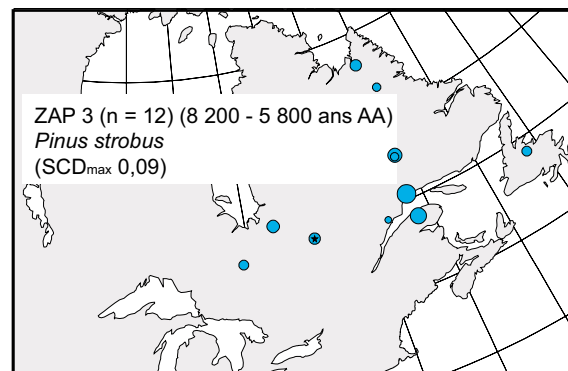
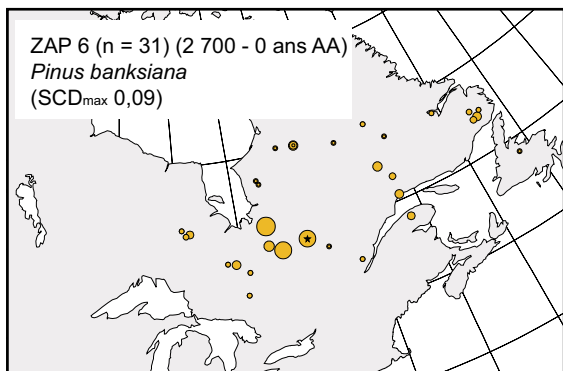
c) PM secteur Est
Répartition des analogues
des ZAP du site CH2

Légende des ZAP

- ★ CH2
- ZAP-6 (*Picea* - *Betula* - *Pinus banksiana*)
- ZAP-5 (*Picea* - *Betula*)
- ZAP-4 (*Betula* - *Picea*)
- ZAP-3 (*Picea* - *Betula* - *Pinus strobus*)
- ZAP-2 (*Betula* - *Picea* - *Pinus*)
- ZAP-1 (*Picea* - *Betula* - *Pinus bank.* - *Alnus* - *Popu.* - *Quercus* - herbes)

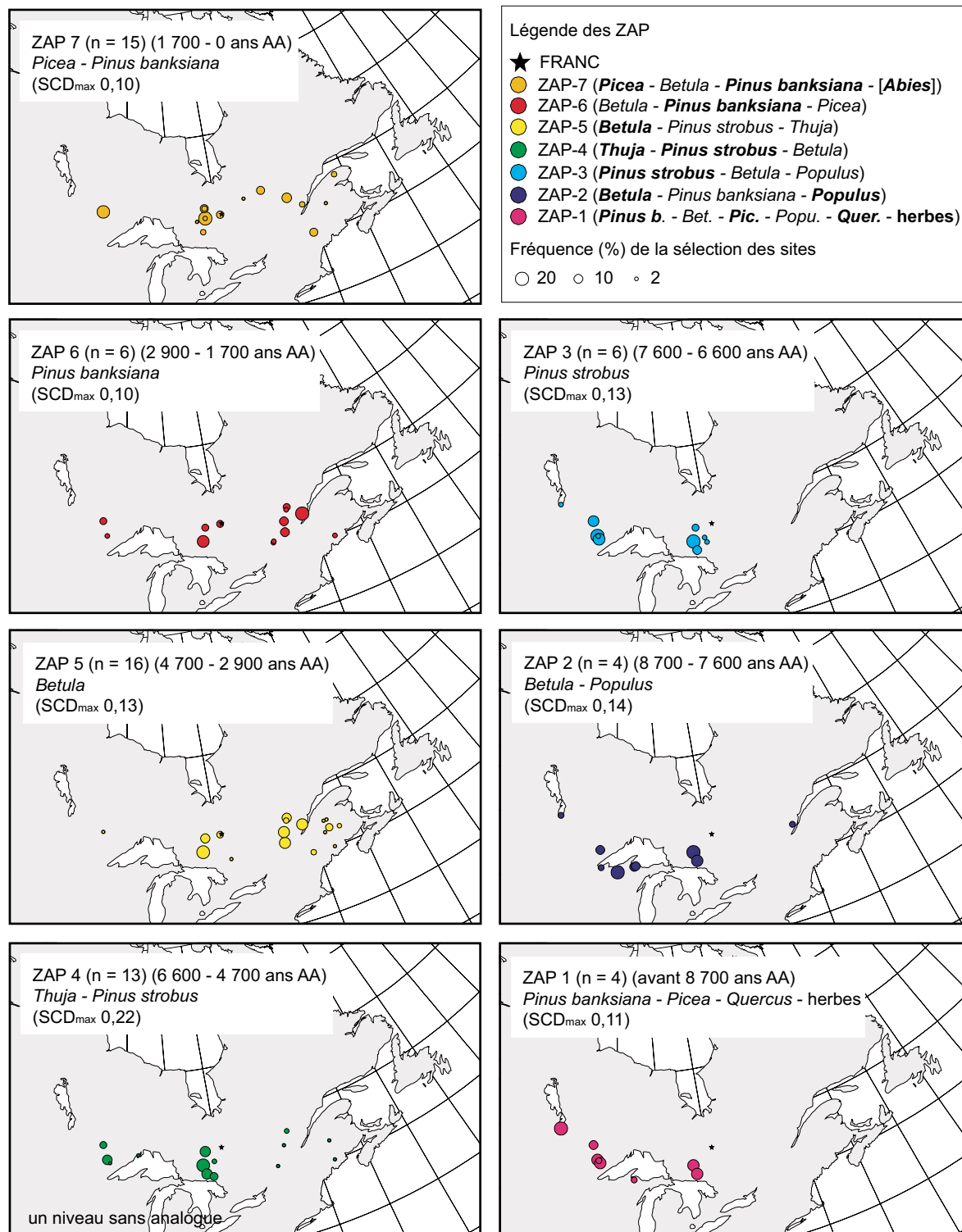
Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2



Annexe 9. (suite)

d) SBb secteur Ouest
Répartition des analogues
des ZAP du site **FRANC**



Annexe 9. (suite)

e) SBb secteur Est
Répartition des analogues
des ZAP du site PRU

Légende des ZAP

★ PRU

● ZAP-6 (*Betula* - *Picea* - *Pinus* - *Abies*)

● ZAP-5 (*Betula* - *Pinus* - *Picea* - [*Abies*])

● ZAP-4 (*Betula* - *Pinus strobus*)

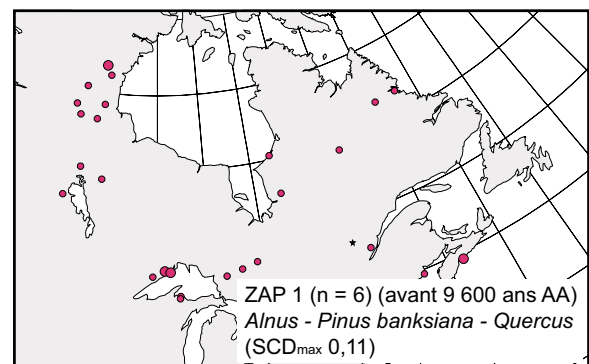
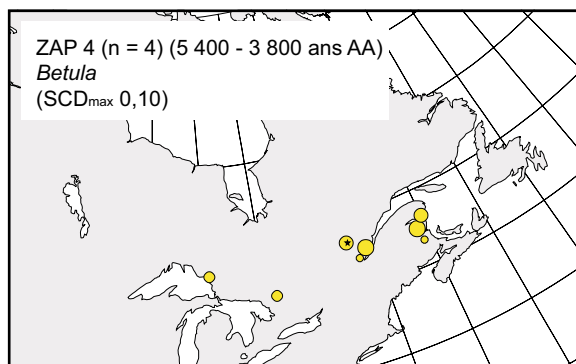
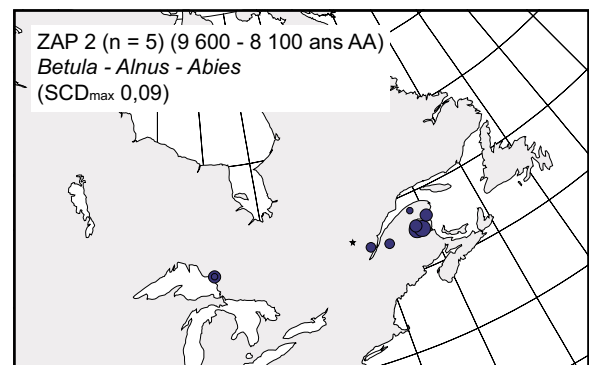
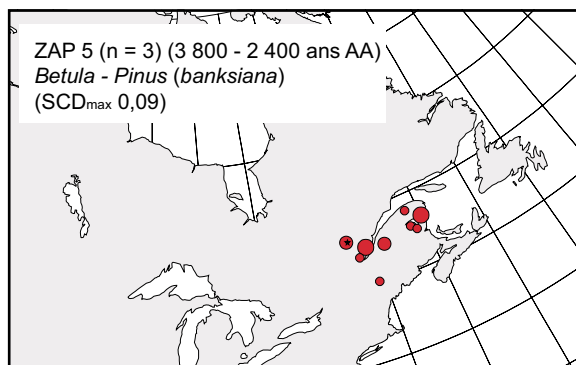
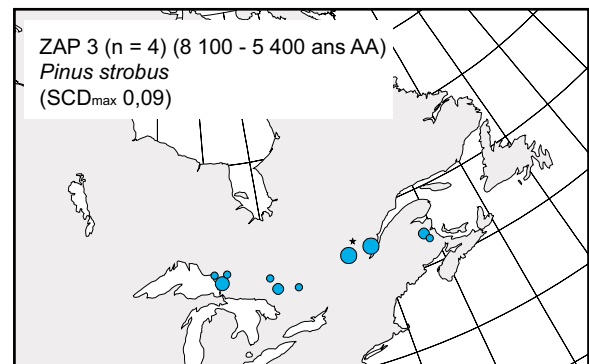
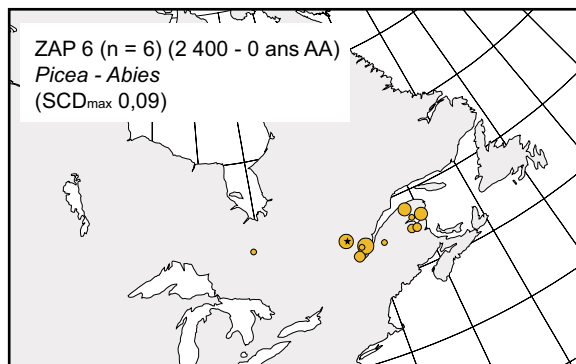
● ZAP-3 (*Betula* - *Pinus strobus*)

● ZAP-2 (*Betula* - *Picea* - *Pinus* - *Alnus* - *Abies*)

● ZAP-1 (*Betula* - *Alnus* - *Pic.* - *Pinus* - *Quer.* - *Popu.* - *herbes*)

Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2



Annexe 9. (suite)

f) SBj secteur Ouest
Répartition des analogues
des ZAP du site **CGC27**

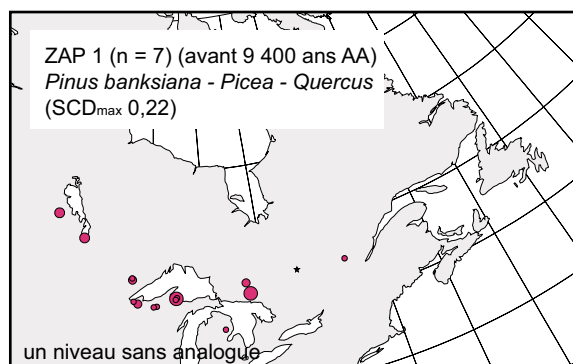
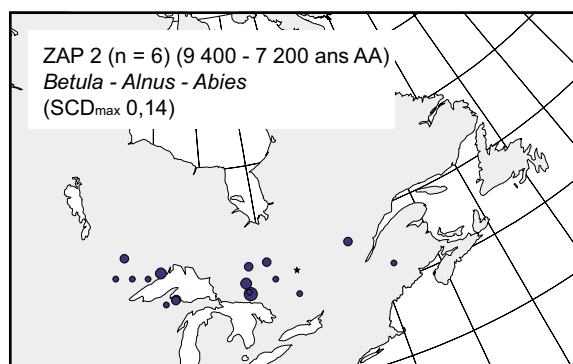
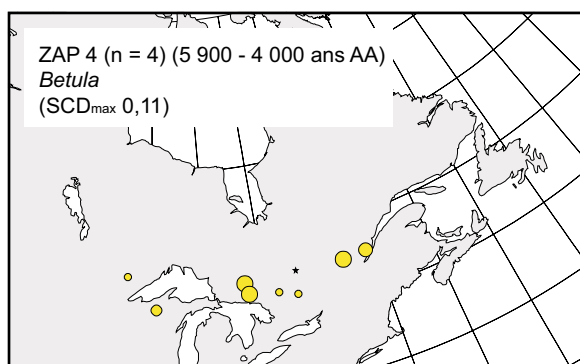
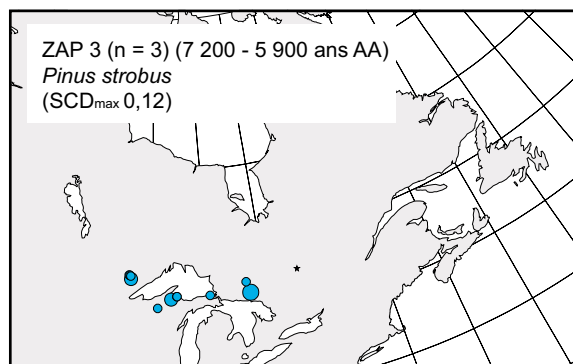
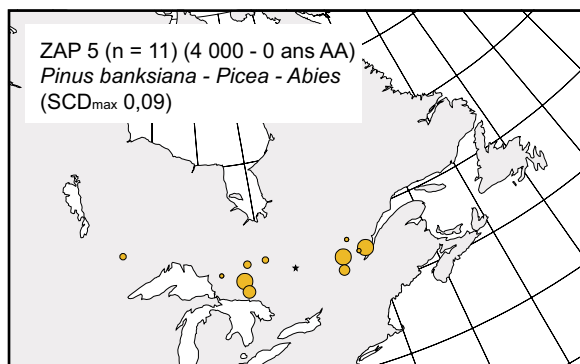
Légende des ZAP

★ CGC27

● ZAP-5 (*Betula* - *Pinus strobus* - *Pinus banksiana* - *Picea* - *Abies*)● ZAP-4 (*Pinus strobus* - *Betula*)● ZAP-3 (*Pinus strobus*)● ZAP-2 (*Betula* - *Pinus banksiana* - *Alnus* - *Picea* - *Abies*)● ZAP-1 (*Pinus bank.* - *Betula* - *Quer.* - *herbes* - *Popu.* - *Juniperus* - *Pic.*)

Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2



Annexe 9. (suite et fin)

g) SBj secteur Est
Répartition des analogues
des ZAP du site **MART**

Légende des ZAP

★ MART

● ZAP-5 (*Betula* - *Pinus strobus* - *Picea* - *Pinus banksiana* - *Abies*)

● ZAP-4 (*Betula* - *Pinus strobus*)

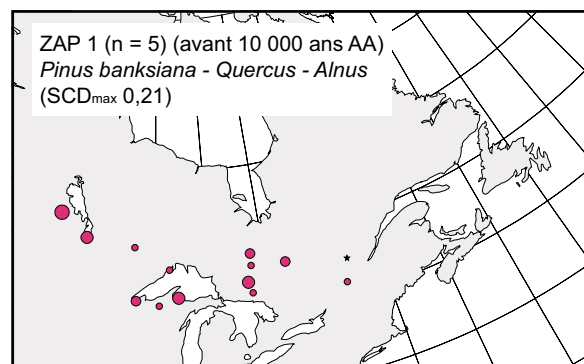
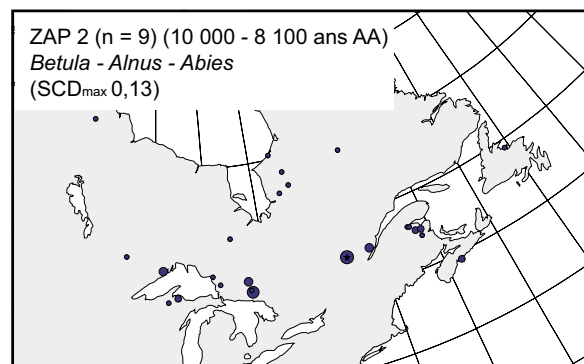
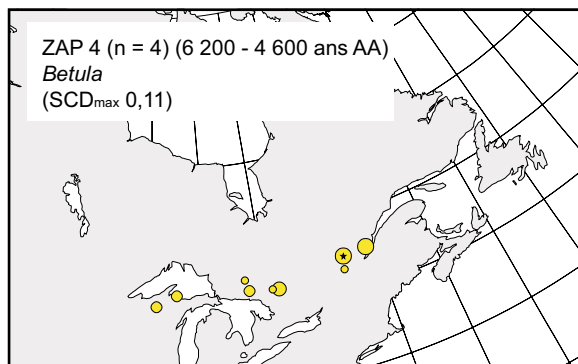
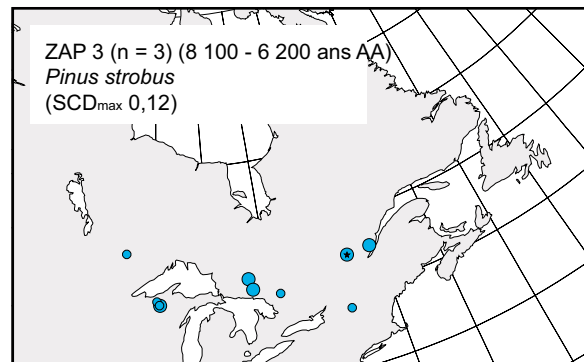
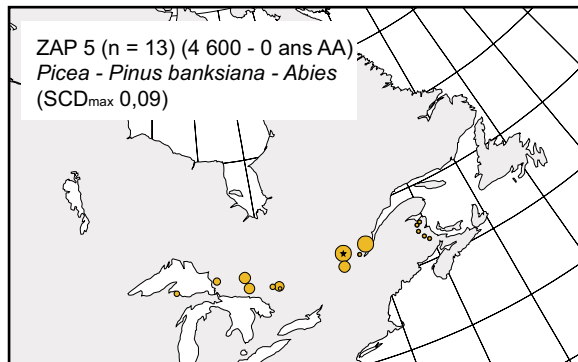
● ZAP-3 (*Pinus strobus* - *Betula* - *Pinus banksiana*)

● ZAP-2 (*Betula* - *Pinus banksiana* - *Alnus* - *Abies*)

● ZAP-1 (*Pinus bank.* - *Betula* - *herbes* - *Pic.* - *Quer.* - *Popu.* - *Alnus* - *Junip.*)

Fréquence (%) de la sélection des sites

○ 20 ○ 10 ○ 2





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 à 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 26 lacs de la forêt boréale de l'ouest du Québec. Ensuite, les changements de végétation survenus dans les paysages ont été mis en relation avec les modifications des climats passés. Cette « télédétection temporelle » sur plus de 10 millénaires permet de mieux comprendre la variabilité des conditions écologiques et des processus dans lesquels se sont développées la flore et la végétation des domaines bioclimatiques boréaux de l'ouest du Québec. 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 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.