

**Dynamiques de la végétation en regard des variabilités climatiques au cours de  
l'Holocène tardif, Outaouais, Québec.**

Karelle Lafontaine-Boyer

Thèse soumise à la Faculté des études supérieures et postdoctorales dans le  
cadre des exigences du programme de maîtrise ès sciences en géographie

Département de géographie  
Université d'Ottawa  
Ottawa, Canada

## Résumé

Un profil pollinique provenant d'un lac possédant des sédiments laminés (varves), le lac Brûlé (45°43'09" N, 75°26'32"O 270m), a servi à étudier l'histoire de la végétation et du climat dans l'Outaouais au cours de l'Holocène tardif. Au cours des 1400 dernières années, la végétation de l'Outaouais a été dominée par des espèces arboréennes telles que *Tsuga*, *Fagus*, *Betula*, *Acer*, *Pinus* et *Picea*. Des modifications majeures s'opèrent dans les spectres polliniques vers 1375 AD. Les analyses des micro-charbons et les évidences d'une succession écologique secondaire indiquent que ces changements sont attribuables à un incendie forestier. Une diminution abrupte de l'influx pollinique entre 1600 et 1700 AD suggère qu'une dégradation du climat sous un certain seuil a entraîné une réponse rapide du milieu forestier. Les changements observés lors du Petit-Âge glaciaire suggèrent que les variations climatiques de courte durée affectent la production pollinique et que ces changements sont enregistrés par les diagrammes polliniques à haute résolution temporelle.

## Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon superviseur, Dr. Konrad Gajewski. Merci Konrad d'avoir cru en moi. Merci pour tes encouragements tout au long de ce processus parfois chaotique et difficile. Grâce au temps que tu m'as consacré, à tes conseils et à ta patience légendaire, je clos finalement cette aventure incroyable. Te côtoyer au cours de ces deux dernières années a été un réel plaisir.

J'aimerais aussi remercier Jean Bjornson pour ses précieux conseils. Merci Jean d'avoir su alimenter continuellement ma réflexion lors de mes nombreux questionnements. Ta façon de guider ma réflexion a aiguisé mon sens critique. J'ai aimé nos discussions qui tournaient souvent à l'absurde!

Je souhaite remercier mon comité d'évaluation. Je suis reconnaissante envers Dr. Bernard Lauriol et Dr. André Viau pour le temps consacré à la lecture de ma thèse. Merci aussi pour vos judicieux conseils.

Merci à tous mes collègues du laboratoire de paléoclimatologie et de climatologie. Le temps passé à vos côtés a ensoleillé mon parcours. Merci Michelle pour la complicité que j'ai développée avec toi. Merci d'avoir été là lorsque l'énergie et la motivation me manquaient. Les moments partagés ensemble ont été pour moi une grande source de motivation et de réconfort. Merci Frank pour la tonne de cafés qu'on a bus ensemble et les innombrables pauses de "10 minutes" passées à discuter de tous les sujets possibles sauf du travail! Merci Nathalie pour ta bonne humeur, tes chansons et tes judicieux conseils. Tu es vibrante et pleine d'énergie positive! Notre randonnée de canot restera pour moi un moment inoubliable! Merci Karen d'avoir été pour moi un modèle de détermination et de discipline. Ton ardeur au comptage a été une inspiration. Merci à Matthew et Paul pour votre bonne humeur constante et vos discussions vives et inspirées.

Merci énormément au personnel du département pour votre aide, votre disponibilité et votre sourire chaleureux! Sylvie, Chantale, merci pour l'aide que vous m'avez fournie à de multiples reprises. Vous êtes sans conteste les championnes de la résolution de problèmes!

Cette recherche a été subventionnée par une bourse des *Fonds Québécois de la recherche sur la Nature et les technologies*. Je leur suis reconnaissante pour ce support financier qui m'a permis de mener à bien cette recherche.

Merci à tous mes amis (es) et collègues du Café du Bistrot pour votre flexibilité lors de mes périodes chargées. Merci pour votre support et votre bonne humeur continue. Me joindre à votre belle équipe chaque semaine a été un plaisir sincère. Merci à toutes celles qui m'ont remplacée pour votre compréhension, ce fut grandement apprécié.

Finalement, j'aimerais dire merci à ma famille. C'est grâce à votre support, vos encouragements et votre amour si je me suis rendue aussi loin. Vous êtes ma ressource la plus précieuse. Dans les moments difficiles, c'est vers vous que je me suis tournée.

Merci maman d'avoir été une source d'inspiration incroyable. Merci pour ton écoute. Tu as toujours su trouver les bons mots pour m'encourager et me redonner la confiance nécessaire pour relever ce défi. Marie, je veux seulement te dire merci d'être toujours là pour m'écouter et me redonner de l'énergie. Tu es précieuse dans ma vie. Merci papa de m'avoir poussée à me dépasser. Tes encouragements ont façonné ma détermination et m'ont fait découvrir mes forces. Max, mon bel amour, ta présence a été déterminante tout au long de ma recherche. Tu as su apaiser mes inquiétudes et me donner l'envie de relever ce défi la tête haute. T'avoir à mes côtés est une grande richesse dont je mesure aujourd'hui la valeur. Merci d'avoir cru en moi, merci pour ta patience, mais surtout, merci pour ton amour. Je souhaite aussi offrir mes remerciements à mes grands-parents et mes tantes Lafontaine! Les petites attentions, l'aide et les encouragements que vous m'avez fournis m'ont permis de me concentrer sur mes études et de me rendre jusqu'à la fin. Claude, je tiens à souligner ton aide précieuse. Tu m'as offert un support moral à de nombreuses reprises.

Merci à tous pour votre support! Je partage aujourd'hui cet accomplissement avec vous.

*Karelle*

# Table des matières

<b>Chapitre 1. Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Mise en contexte et buts de la recherche	1
1.2 Revue de la littérature	6
1.2.1 Végétation	6
1.2.2 Études palynologiques au cours de l'Holocène en Outaouais	6
1.2.3 Climat au cours de l'Holocène en Amérique du Nord	9
1.2.4 Sédiments lacustres et varvés	10
1.3 Méthodologie	14
1.3.1 Méthodes sur le terrain	14
1.3.1.1 Bathymétrie	14
1.3.1.2 Profil physico-chimique du lac	14
1.3.1.3 Carottage	14
1.3.2 Méthodes en laboratoire	16
1.3.2.1 Description visuelle des carottes et analyse des lamines	16
1.3.2.2 Division des carottes en sections	17
1.3.2.3 Comptage des lamines et interdatation	18
1.3.2.4 Mesure de l'épaisseur des lamines	19
1.3.2.5 Perte au feu et contenu en matières carbonatées	19
1.3.2.6 Datation au radiocarbone	20
1.3.2.7 Technique de pelage des sédiments à l'aide de ruban adhésif	21
1.3.2.8 Polyéthylène Glycol (PEG)	22
1.3.2.9 Lames minces	22
1.3.2.10 Observation des frottis (smear slides)	23
1.3.2.11 Bilan des analyses	24
1.3.2.12 Sous-échantillonnage et analyse pollinique	24
1.3.2.13 Analyse des micro-charbons	25
1.3.2.14 Présentation et analyse des résultats	26
1.3.2.15 Zonation	26
1.3.2.16 Reconstitution paléoclimatique	26

<b>Chapitre 2. Dynamiques de la végétation en regard des variabilités climatiques au cours de l'Holocène tardif, Outaouais, Québec.</b>	<b>28</b>
2.1 Introduction	28
2.2 Méthodes	31
2.2.1 Terrain	31
2.2.2 Analyse des sédiments et développement de la chronologie	31
2.2.3 Analyses en laboratoire	33
2.2.4 Analyses numériques	34
2.3 Résultats	35
2.3.1 Profil physico-chimique du lac	35
2.3.2 Analyses sédimentaires	36
2.3.3 Établissement de la chronologie	36
2.3.4 Validation de la chronologie	37
2.3.5 Analyse pollinique	38
2.3.6 Analyses multivariées	39
2.3.7 Micro-charbons	41
2.3.8 Reconstitution climatique	41
2.4 Discussion	43
2.4.1 Sédimentation et chronologie	43
2.4.2 Histoire de la végétation et du climat	46
2.4.3 Comparaison avec le lac Noir	49
<b>Chapitre 3. Sommaire et conclusions</b>	<b>73</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>78</b>
<b>Annexe 1. Données polliniques</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 2. Reconstitution climatique</b>	<b>123</b>
<b>Annexe 3. Micro-charbons</b>	<b>141</b>
<b>Annexe 4. Épaisseur des lamines</b>	<b>145</b>
<b>Annexe 5. Perte au feu</b>	<b>149</b>
<b>Annexe 6. Profil physico-chimique du lac</b>	<b>153</b>
<b>Annexe 7. Valeurs propres</b>	<b>154</b>
<b>Annexe 8. Frottis sédimentaires</b>	<b>155</b>

## Liste des Tableaux

- Tableau 1. Normales climatiques de 1971 à 2000 pour quatre stations météorologiques situées en Outaouais. Les données sont exprimées en °C pour les températures moyennes quotidiennes, en mm pour les précipitations et les chutes de pluie et en cm pour les chutes de neige. Les données proviennent du site d'environnement Canada ([http://climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/](http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/)). 54
- Tableau 2. Nombre de couplets de lamines comptés dans les six sections des quatre carottes. Les sections ont été définies à l'aide des lamines distinctives. L'étoile\* indique l'absence de l'interface eau-sédiment. 55
- Tableau 3. Datations conventionnelles au radiocarbone et âges calibrés (CALIB 6.0 ; Stuiver et Reimer, 1993 ; Reimer et *al.*, 2009) pour le lac Brûlé, Québec. 56
- Tableau 4. Compilation des observations des frottis sédimentaires. La moyenne et l'écart type ont été calculés pour l'ensemble des lamines de même couleur. Il est à noter qu'en raison de la faible abondance de certaines composantes, une partie des résultats du tableau sont exprimés en valeur absolue (diatomées, spicules d'éponge, phytolithes, charbons, pollen, fragments d'insectes, cladocères). Les autres composantes, estimées par comparaison avec le diagramme de Terry et Chilingar (1955), sont présentées sous la forme de pourcentages. 57

## Liste des Figures

- Figure 1. Carte de la localisation et relevés bathymétriques du lac Brûlé, Québec. 58
- Figure 2. Varves autour de 40 cm (1400 AD) dans la carotte #5. 59
- Figure 3. Lamines distinctives de la carotte #5 autour de 43 cm. Cette photo illustre la transition abrupte dans l'épaisseur des lamines. 59
- Figure 4. Schéma des quatre carottes sédimentaires du lac Brûlé. Les lettres font référence aux différentes sections des carottes alors que les numérotations romaines indiquent les lamines distinctives. 60
- Figure 5. Profil physico-chimique du lac Brûlé en date du 1<sup>er</sup> juin 2013. Les zones du profil correspondent aux différentes strates dans les eaux du lac. Zones : 1) épilimnion, 2) thermocline, 3) hypolimnion et 4) monimolimnion. 61
- Figure 6. Perte au feu et épaisseur des lamines. Les données du contenu en matières organiques (550°C) et du contenu en matières carbonatées (950°C) sont exprimées en pourcentage par rapport au poids sec des sédiments. La division du diagramme est basée sur les zones d'assemblages polliniques. 62
- Figure 7. La courbe formée d'un trait plein indique la chronologie basée sur le comptage des lamines, soit celle utilisée dans cette étude. Les deux datations au radiocarbone calibrées (CALIB 6.0 ; Stuiver et Reimer, 1993 ; Reimer et *al.*, 2009) apparaissent en mauve. Les formes ondulatoires indiquent les intervalles de confiance des deux datations pour 1 $\sigma$  et 2 $\sigma$ . La zone grisée est constituée des résultats des analyses des datations <sup>14</sup>C dans le programme Bacon (Blaauw et Christen, 2011). 63
- Figure 8. Pourcentages polliniques pour le lac Brûlé, Québec. Seulement les principaux taxons sont présentés. Les différentes zones (A, B & C) et sous-zones (B1, B2, B3 & B4) du diagramme ont été établies à partir des résultats des analyses des composantes principales menées sur l'ensemble des données polliniques. 64
- Figure 9. Taux d'accumulation pollinique pour le lac Brûlé, Québec. Il est à noter que les échelles varient selon les taxons. L'influx pollinique total n'inclut pas les grains de pollen des aquatiques. 65

- Figure 10. Valeurs propres (variance expliquée) pour chacune des dix premières composantes principales. 66
- Figure 11. Pointages des trois premiers axes issus de l'analyse des composantes principales menée sur les données polliniques du lac Brûlé, Québec. Les résultats sont présentés par rapport à la ligne de référence placée à zéro. 67
- Figure 12. Diagramme de double projection (biplot) des données polliniques du lac Brûlé pour les deux premiers axes de l'analyse des composantes principales. Les cercles représentent les données des pointages pour chacun des 138 échantillons par rapport à ces axes. 68
- Figure 13. Diagramme de double projection (biplot) des données polliniques du lac Brûlé pour le premier et le troisième axe de l'analyse des composantes principales. Les cercles représentent les données des pointages pour chacun des 138 échantillons par rapport à ces axes. 69
- Figure 14. Influx des micro-charbons contenus dans les sédiments du lac Brûlé, Québec. Les six classes ont été ainsi définies : **1:**  $218,75 \leq - < 437,5 \mu\text{m}^2$ , **2:**  $437,5 \leq - < 875 \mu\text{m}^2$ , **3:**  $875 \leq - < 1750 \mu\text{m}^2$ , **4:**  $1750 \leq - < 3500 \mu\text{m}^2$ , **5:**  $3500 \leq - \leq 7000 \mu\text{m}^2$ , **6:**  $> 7000 \mu\text{m}^2$ . 70
- Figure 15. Diagramme synthèse du lac Brûlé, Québec. Ce diagramme présente les caractéristiques de la séquence sédimentaire (épaisseur des couplets de lamines et données de la perte au feu), la concentration et l'influx des micro-charbons et des grains de pollen, la reconstitution paléoclimatique et les pointages pour les trois premiers axes de l'analyse des composantes principales. Les données de la reconstitution climatique représentent la moyenne des trois premiers analogues pour les températures et les précipitations annuelles moyennes. Une courbe lissée a été apposée sur les données paléoclimatiques. Pour la reconstitution, les lignes de référence ont été définies à partir de la moyenne calculée pour l'ensemble de la séquence (températures :  $5,26^\circ\text{C}$  et précipitations :  $949,88 \text{ mm}$ ). La ligne de référence a été établie à zéro pour les résultats des pointages. 71

Figure 16. Comparaison entre le lac Brûlé et le lac Noir, Québec. Le diagramme présente les données du lac Brûlé (spectres marqués d'une étoile\*) et celles du lac Noir en alternance. Il est à noter que quarante années ont été retranchées de la chronologie du lac Noir afin d'aligner les courbes d'*Ambrosia*. Seuls les taxons les plus significatifs sont présentés. Les courbes des deux reconstitutions climatiques illustrent la moyenne des trois premiers analogues. La courbe des températures représente la moyenne pour les mois de juin, juillet et août. La courbe des précipitations équivaut à la somme totale pour ces mêmes trois mois. Valeurs des lignes de référence : Températures : 17,64°C (Brûlé)- 17,5°C (Noir) et Précipitations : 274,2 mm (Brûlé) et 287,2 mm (Noir).

# Chapitre 1. Introduction

## 1.1 *Mise en contexte et buts de la recherche*

Depuis la dernière déglaciation, le paysage dans la région de l'Outaouais a connu de profonds changements, façonné notamment par le retrait de la calotte glaciaire, l'invasion du territoire par la mer de Champlain, le développement des grands lacs pro-glaciaires et l'établissement des Européens dans la région des Grands Lacs (Potzger et Courtemanche, 1956 ; Mott et Camfield, 1969 ; Mott, 1977, Mott et Farley-Gill, 1981 ; Anderson, 1985 ; Richard, 1985, Anderson et Lewis, 1992 ; Paquette et Gajewski, 2013). Le passage progressif d'une végétation de toundra arbustive, caractérisée par la présence de touffes de végétation distribuées de manière éparse, vers une forêt à canopée fermée et puis finalement vers une forêt plus mature formée d'un mélange de bois dur, témoigne du dynamisme des interactions entre le climat et la végétation (Mott et Farley-Gill, 1981 ; Richard, 1993 ; Richard, 1994 ). Ces transformations du paysage au cours de l'Holocène sont en réponse à des changements climatiques s'étant opérés à long terme, soit sur une échelle multicentenaire ou millénaire. Quoiqu'il soit largement admis que la végétation réponde aux changements climatiques à long terme, les impacts et les mécanismes de réponse de la végétation aux variabilités climatiques à plus court terme, soit ceux se produisant sur une échelle décennale à centenaire, restent encore méconnus. Cette étude tente de déterminer si l'examen des assemblages polliniques fossiles permet de déceler des indices qui témoignent de mécanismes de réponse de la végétation associés à de courtes variations des régimes climatiques, telles que celles constatées lors du Petit-Âge glaciaire et de l'Optimum climatique médiéval (Gajewski, 1988; Gajewski 1993; Viau et *al.*, 2006; Wanner et *al.*, 2008 ; Paquette et Gajewski, 2013).

L'analyse du diagramme pollinique issu du lac Brûlé, situé en Outaouais, dans l'Ouest québécois, a servi à étudier les dynamiques de la végétation au cours des 1400 dernières années. La visée principale de cette étude est de documenter l'histoire de la végétation en regard, notamment, des variations climatiques qui se sont produites au cours de l'Holocène

tardif (Petit-Âge glaciaire et Optimum climatique médiéval), et du développement des premières communautés venues d'Europe.

Plusieurs études palynologiques ont précédemment analysé l'histoire de la végétation en Amérique du Nord (p.ex. Bernabo et Webb, 1977 ; Davis, 1983a-b ; Gajewski, 1987 ; Prentice et *al.*, 1991 ; Overpeck et *al.*, 1992 ; Clet-Pellerin et Occhietti, 2000 ; Jackson et *al.*, 2000 ; Shuman et *al.*, 2002a-b ; Shuman et *al.*, 2002b ; William et *al.*, 2004 ; Dyke, 2005). Par contre, ces études se sont penchées sur les changements qui se sont produits sur de larges échelles temporelles et spatiales. Elles ont entre autres fait état de la migration de la végétation en réponse au réchauffement climatique faisant suite au retrait des glaciers (Richard, 1993). Puisque l'intention de ces études était de mettre en relief l'influence des forçages climatiques sur la végétation sur une échelle millénaire, ces études ne possèdent pas une résolution temporelle suffisante (Anderson, 1985) pour percevoir des variations subtiles dans les spectres polliniques qui résulteraient de variabilités climatiques de courte durée. Dans cette étude, l'évaluation des changements de la végétation reliés aux oscillations climatiques mineures s'est faite en analysant les grains de pollen fossiles et les micro-charbons contenus dans des sédiments lacustres varvés, et ce, à une haute résolution temporelle.

La conception générale tend à affirmer que les fluctuations climatiques de courte durée ne transparaissent pas, ou alors très rarement, à la lecture des diagrammes polliniques (p.ex. Davis et Botkin, 1985). En raison des limites de tolérance plus ou moins élevées et de la durée de vie des différentes espèces arboréennes, on considère fréquemment que le temps de réponse minimal d'un milieu suite à un changement climatique est au-delà d'un siècle (p.ex. Calef et *al.*, 2005 ; Zhang, 2009 ; Shuman et *al.*, 2011 ; Lutz, et *al.*, 2013). Dès lors, de courtes variations climatiques telles que celles ayant été observées durant le Petit-Âge Glaciaire seraient imperceptibles dans les enregistrements polliniques. C'est d'ailleurs sur cette prémisse que sont élaborés de nombreux modèles de reconstitution de la végétation qui utilisent les grains de pollen fossiles. La possibilité que les enregistrements polliniques à haute résolution révèlent des variations subtiles dans la composition de la végétation correspondant à des variations

climatiques mineures permettrait, entre autres, d'ajuster les modèles en fonction de cette nouvelle information. Des études se sont d'ailleurs penchées sur la question de la sensibilité et de la rapidité avec laquelle la végétation se modifie suite à des changements climatiques abrupts (Gajewski, 1987; Anderson et *al.*, 1991; Peteet, 2000 ; Shuman et *al.*, 2009 ; Peros et *al.*, 2008 ; Minckley et *al.*, 2011). Néanmoins, la capacité d'enregistrement par le diagramme pollinique de changements climatiques rapides et de courte durée est une question qui a été peu investiguée (Lévesque et *al.*, 1993 ; Tinner et Lotter, 2001 ; William et *al.*, 2002).

Une des considérations majeures des études palynologiques est d'acquérir une résolution temporelle élevée et précise afin d'établir une chronologie fiable des événements. Or, la plupart des études disponibles reposent sur une faible résolution temporelle. Le manque de résolution, notamment attribué à la nature des sédiments ou à l'altération de leur séquence par divers facteurs biotiques ou abiotiques (Ludlam, 1969 ; Davis, 1974 ; Larsen et MacDonald, 1993 ; Francus et *al.*, 2002), peut affecter considérablement l'exactitude de la chronologie qui en est issue. Un manque de résolution temporelle limite les informations qui peuvent être dégagées des enregistrements polliniques, tels que de légères variations dans la composition des pollens des suites de changements climatiques de courte durée. Il est donc primordial d'adapter l'intervalle d'échantillonnage des sédiments selon les questions adressées par l'étude. Par ailleurs, une autre difficulté rencontrée lors de l'établissement d'une chronologie à haute résolution concerne la datation des sédiments par des méthodes comme le radiocarbone ou le plomb-210. Bien que ces méthodes offrent un niveau de confiance relativement satisfaisant dans le contexte de la plupart des études, les nombreux facteurs d'erreur inhérente ou non à ces méthodes peuvent affecter considérablement la validité des chronologies élaborées à haute résolution. Le risque principal associé à l'utilisation de ces méthodes concerne la marge d'erreur relative aux datations. Pour le radiocarbone, la marge d'erreur (environ 30 années pour les derniers 2000 ans) correspond approximativement à la durée de vie de certaines espèces arboréennes.

Les sédiments de type varvés permettent de pallier, dans une certaine mesure, aux erreurs associées aux méthodes de datation absolue (Ojala et *al.*, 2012). Le rythme de déposition annuel des lamines permet de déterminer avec précision le taux de sédimentation dans un environnement donné et d'établir, à partir de ces informations, une chronologie fiable de la séquence sédimentaire. Les sédiments varvés offrent aussi la possibilité d'estimer avec précision le taux d'accumulation des grains de pollen. L'influx pollinique fournit des indices sur la réponse d'un écosystème aux oscillations climatiques et aux perturbations anthropiques. La présence de sédiments varvés dans lac Brûlé a permis de réaliser des analyses à un haut niveau de résolution temporelle, soit à l'échelle décennale.

Le site sélectionné pour cette étude, le lac Brûlé, se situe dans la municipalité de Mulgrave-et-Derry, dans la portion ouest de la Municipalité Régionale de Comté (MRC) de Papineau. Cette municipalité recouvre 300 km<sup>2</sup> et compte moins de 400 habitants (Statistique Canada, 2007). Ce lac a été sélectionné suite aux forages réalisés dans le bassin le plus profond. Ceux-ci ont démontré la présence de lamines dans les sédiments.

Le lac Brûlé (45°43'09" N, 75°26'32"O 270 m) se trouve dans la province géologique de Grenville, plus précisément dans la ceinture allochtone (Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'information géologique du Québec, Gouvernement du Québec, 2012). La géologie locale se compose principalement de quartzite, de paragneiss, de pegmatite et de granite. On retrouve une douzaine de mines dans un rayon de moins de 5 km autour du lac. La majorité de ces mines, aujourd'hui fermées, exploitaient le feldspath, le quartz et le mica. Les seules mines encore en activité aujourd'hui exploitent l'apatite. Le lac se trouve à l'extérieur des anciennes limites de la mer de Champlain.

Le lac Brûlé, de forme allongée, possède une superficie de 10 ha et une profondeur maximale de 43 m (Figure 1). Les relevés bathymétriques ont démontré qu'il est constitué de deux bassins interconnectés par un passage plus étroit, formé par l'avancement de deux pointes de terre. Les zones littorales sont fortement escarpées. Le lac est entouré de collines présentant

un fort dénivelé. Ce relief accidenté est d'ailleurs typique de la région. Le lac est alimenté principalement par le ruissellement des eaux de précipitation. La végétation environnante se compose d'une forêt mixte, caractéristique de la zone de transition entre la forêt boréale, située plus au nord, et la forêt décidue au sud (Burns, 1990 ; Richard, 1993). On ne retrouve que quelques habitations sur la côte ouest du lac, perchées sur le haut des collines. Les données météorologiques de quatre stations situées près du lac Brûlé indiquent que, pour la période de 1971 à 2000, la moyenne des températures annuelles était de 5°C et celle des précipitations était de 1054 mm (Tableau 1). Pour ces mêmes stations, les moyennes des températures et des précipitations étaient respectivement de -9,81°C et de 74,02 mm pour la période hivernale et de 18,33°C et de 98,40 mm pour la période estivale.

## **1.2 Revue de la littérature**

### **1.2.1 Végétation**

Le site d'étude se trouve dans un milieu caractérisé par un dense couvert forestier. Le lac Brûlé est situé dans la zone de forêt feuillue tempérée. Cette zone de végétation, caractérisée par des forêts composées de feuillus nordiques, est dominée par l'érable à sucre (Ministère des ressources naturelles, faunes et parcs du Québec, 2013). Le site étudié est situé à la limite des domaines de l'érablière à bouleau jaune et de l'érablière à tilleul. Le domaine de l'érablière à tilleul est composé majoritairement d'espèces de feuillus, dont plusieurs atteignent la limite septentrionale de leur aire de distribution. Parmi les espèces qui composent ce domaine, on compte le tilleul d'Amérique (*Tilia americana*), le frêne (*Fraxinus spp*), l'ostryer de virginie (*Ostrya virginiana*) et le noyer cendré (*Juglans cinera*). Comme son nom l'indique, le domaine se trouvant plus au nord, soit celui de l'érablière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), est caractérisé par la présence du hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*), du chêne rouge (*Quercus rubra*) et de la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*). Par ailleurs, on retrouve dans ce domaine des peuplements de pins rouges et blancs.

### **1.2.2 Études palynologiques au cours de l'Holocène en Outaouais**

L'étude des grains de pollen fossiles permet de retracer et de mieux comprendre l'histoire de la végétation dans une région. L'investigation des sédiments, et plus particulièrement de leur contenu pollinique, fournit des indices sur les événements stochastiques et les conditions climatiques du passé. Les études qui se sont penchées sur l'histoire de la végétation au cours de l'Holocène dans le Nord-est américain ont permis de mieux comprendre les dynamiques de la végétation en réponse à des variations du climat (p.ex. Muller et *al.*, 2003). Plusieurs études polliniques ont d'ailleurs documenté l'histoire de la végétation dans la région d'Ottawa-Gatineau suite à la déglaciation (Potzger et Courtemanche,

1956 ; Terasmae et Mott, 1964 ; Mott et Camfield, 1969 ; Mott, 1977 ; Mott et Farley-Gill, 1981 ; Richard, 1985 ; Anderson et Lewis, 1992 ; Paquette et Gajewski, 2013).

Depuis le retrait des glaciers, il y a environ 11 000 ans, la région de la vallée de la Gatineau a connue plusieurs changements floristiques. L'histoire postglaciaire de la végétation est complexe, et ce, en raison notamment du retrait de la calotte glaciaire, de l'invasion du territoire par la mer de Champlain, du développement des grands lacs pro-glaciaires et des développements dans l'histoire de la colonisation de la région des Grands Lacs (Pötzger et Courtemanche, 1956). La fonte des glaciers a laissé place à l'apparition d'une végétation de toundra et de toundra arbustive. Les assemblages polliniques de cette période contiennent majoritairement des grains de pollen d'arbustes et d'herbes. On y retrouvait principalement des carex et des graminées, mais la présence de pollen de saule, d'aulne et de bouleau nain suggère une végétation de type toundra à tendance arbustive (Mott et Farley-Gill, 1981). Malgré la présence d'arbustes dans le paysage, ceux-ci n'auraient été que peu nombreux. L'étude menée par Mott et Farley (1981) avance le fait que la mer de Champlain, issue du recul des glaciers, ainsi que la pauvreté des sols, due à leur stade primaire de développement, auraient agi comme une barrière à la migration septentrionale de plusieurs espèces arboréennes. Il y a 10 700 ans, le milieu a été colonisé par le peuplier et le tremble. Quelques 500 années plus tard, l'épinette a peu à peu remplacé les peupliers et les trembles. Malgré l'arrivée de l'épinette, les forêts ne formaient pas encore un couvert dense. Les analyses polliniques suggèrent que le paysage était alors composé de touffes de végétation, distribuées de manière éparse (Mott et Farley-Gill, 1981). Au cours des siècles qui suivent, l'épinette a amorcé son déclin pour laisser place aux bouleaux et aux pins rouges et gris. À cette même époque, le recul de la mer de Champlain dans la région est associé à une augmentation de l'abondance des espèces telles que le chêne, le frêne, le hêtre et l'ostryer. Vers 9 800 ans BP, l'érable fait son apparition dans le paysage, menant à la formation d'une forêt à canopée fermée. Les assemblages polliniques révèlent aussi la présence notable du pin blanc qui a graduellement remplacé les pins rouges et gris. La hausse du nombre de pins blancs correspond à une augmentation de l'abondance des chênes et d'autres espèces de bois dur. Vers 6 500 ans BP la pruche a commencé à gagner en importance,

probablement en réponse à un réchauffement des températures et à une augmentation du niveau d'humidité (Mott et Camfield, 1969). La croissance du nombre de bouleaux et d'érable, couplée à la diminution de l'abondance des chênes, des frênes et des hêtres est un indicateur de la maturation de la forêt. Vers le milieu de l'Holocène, on observe un fort déclin de la pruche à travers l'Amérique du Nord (Gaudreau et Webb, 1985 ; Allison et *al.*, 1986 ; Bhiry et Filion, 1996 ; Fuller, 1998 ; St-Jacques et *al.*, 2000; Bennett et Fuller, 2002 ; Zhao et *al.*, 2010; Marsicek et *al.*, 2013). Le déclin de la pruche, associé à une cause pathogénique, a permis aux érables, aux bouleaux et aux hêtres de croître en nombre.

Au cours de l'Holocène tardif, le refroidissement climatique à long terme associé à la néoglaciation a entraîné une expansion de la forêt boréale vers le sud (Wright, 1971 ; Wright, 1976 ; Bernabo et Webb, 1977; Davis, 1983 ; Liu, 1990 ; Muller et Richard, 2001). Au niveau régional, les changements dans la composition de la végétation ont été attribués aux fluctuations climatiques qui se sont opérées sur une échelle temporelle centenaire (Gajewski, 1988).

Plus récemment, la végétation dans l'est des Amériques a subi d'importantes modifications suite à l'arrivée des premiers colons européens (Mott et Farley-Gill, 1981). L'établissement des Européens dans la région de l'Outaouais, entre 1805 et 1850 AD, a mené à un déclin drastique des pins blancs (Terasmea et Mott, 1964 ; Potzger et Courtemanche, 1956 ; Mott et Farley-Gill, 1981 ; Mott et Camfield, 1969). La coupe massive des pins, dans le but d'éclaircir les terres pour y pratiquer l'agriculture et pour l'exploitation forestière, a favorisé une montée saillante des pollens de graminées et d'herbes dans les assemblages polliniques (Boyko-Diakonow, 1979 ; Withney, 1994). L'ambrosie (*Ambrosia*) est le type qui a connu la plus grande expansion dans le paysage.

### **1.2.3 Climat au cours de l'Holocène en Amérique du Nord**

De nombreuses études se sont penchées sur le climat depuis le dernier maximum glaciaire en Amérique du Nord (Ritchie et *al.*, 1983 ; Bartlein et *al.*, 1984 ; Dean et *al.*, 1984 ; Gajewski, 1988 ; Prentice et *al.*, 1991, Lévesque et *al.*, 1993 ; Hu et *al.*, 1999 ; Shuman et *al.*, 2002a ; Viau et *al.*, 2006 ; Viau et Gajewski, 2009 ; Warnner et *al.*, 2008 ; Peros et Gajewski, 2009 ; Viau et *al.*, 2012). Les modifications de la composition de la végétation au cours de l'Holocène sont attribuées à des changements des conditions climatiques. Il a été démontré qu'en Amérique du Nord, ces changements ont suivi une périodicité de  $1200 \pm 100$  ans au cours des derniers 14 000 ans (Viau et *al.*, 2006). La variabilité climatique du début de l'Holocène serait la conséquence des réarrangements de la circulation atmosphérique suite au retrait de la calotte laurentienne et des modifications dans la distribution des radiations solaires (Ritchie et *al.*, 1983 ; Webb et *al.*, 1993 ; Karlén et Kylenstierna, 1996 ; Viau et *al.*, 2006). Les enregistrements polliniques suggèrent que la période comprise entre le début et le milieu de l'Holocène ait été environ 2°C plus chaude qu'aujourd'hui (Davis et *al.*, 1980). Des études palynologiques ont aussi mis en évidence la tendance vers un refroidissement des températures qui s'est opéré depuis la fin de l'Optimum climatique (Gajewski, 1988 ; Wanner et *al.*, 2008). Cet abaissement progressif des températures serait la conséquence d'une réduction constante de l'insolation solaire estivale dans l'hémisphère nord résultant du forçage orbital (Kutzbach et Webb, 1993 ; Bond et *al.*, 2001 ; Bradley, 2003 ; Mayewski et *al.*, 2004 ; Shuman et *al.*, 2005 ; Wahl et *al.*, 2012). Des études basées sur des analyses dendrochronologiques, polliniques et glaciaires ont par ailleurs permis de faire ressortir des variations climatiques de plus courte durée (Gajewski, 1988 ; Gajewski, 1993 ; McDermott et *al.*, 2001 ; Cronin, 2005 ; Mann et *al.*, 2008 ; Loso, 2009). Ces événements, soit le Petit Âge glaciaire et l'optimum climatique médiéval, se sont produits sur une échelle décennale à centenaire. Ils auraient été provoqué par un déplacement des systèmes de haute pression de l'Atlantique durant les périodes estivales (vers le nord au cours de l'Optimum climatique médiéval et vers le sud au cours du Petit Âge glaciaire) (Gajewski, 1988).

Le Petit Âge glaciaire (1500-1900 AD) (Wahl et *al.*, 2012) a été identifié dans de nombreux dépôts géologiques et carottes glaciaires provenant de divers sites situés dans l'hémisphère nord (Meese et *al.*, 1994 ; O'Brien et *al.*, 1995 ; Bianchi et McCave 1999; Moore et *al.*, 2001 ; Cronin et *al.*, 2003 ; Mayewski et *al.*, 2004 ; Pederson et *al.*, 2005 ; Wanner et *al.*, 2008 ; Viau et *al.*, 2012). Cette période est caractérisée par une synchronisation à l'échelle globale des avancées et retraits des glaciers (Denton et Karlen, 1977; Porter, 1986). L'optimum climatique médiéval, survenu entre 800 et 1200 ans AD (Grove, 2004), est défini par un réchauffement des températures (Wahl et *al.*, 2012). Bien qu'il y ait de nombreuses évidences témoignant de ces épisodes climatiques, il semble y avoir de nombreuses divergences spatiales et temporelles à travers les différents sites étudiés (Grove et Switsur, 1994 ; PAGES 2k network, 2013). L'absence de synchronisme à l'échelle globale suggère que ces périodes n'aient pas été uniformes d'un point de vue climatique.

#### **1.2.4 Sédiments lacustres et varvés**

Les lacs représentent des milieux dynamiques et complexes. Puisque les sédiments lacustres sont formés de particules provenant de l'environnement biotique et abiotique, les lacs constituent en quelque sorte des archives du passé. Leurs sédiments peuvent en effet servir à documenter l'histoire du lac, de la végétation et des climats passés (Tian et *al.*, 2011).

De nombreux facteurs influencent la manière, l'endroit et le rythme auquel les sédiments lacustres se déposent (Serruya et Serruya, 1966 ; Jacobson et Bradshaw, 1981 ; Renberg, 1982 ; Ojala et *al.*, 2000 ; Tiljander et *al.*, 2002 ; O'Sullivan, 2004). Les processus de sédimentation sont hautement déterminés par les caractéristiques hydrologiques, la topographie du bassin de même que par le relief entourant le lac (Hakanson et Jansson, 1983). Ces processus sont d'autant plus complexes puisqu'ils ne peuvent être assumés constants à travers le temps et l'espace. Par exemple, dans les régions tempérées, le rythme de sédimentation fluctue en fonction des dynamiques saisonnières de la production primaire. Ainsi, durant l'été, au moment où la végétation est florissante et à son stade de productivité

maximale, le montant de matières organiques contribuant à la sédimentation du lac est plus important. Inversement, durant l'hiver, la sédimentation diminue en raison de la baisse du niveau de productivité primaire et du gel de la surface des plans d'eau.

Lorsque la sédimentation suit un rythme saisonnier, les lamines ainsi développées sont appelées «varves». Les varves se présentent typiquement sous la forme d'un couplet formé d'une couche claire et d'une couche sombre (O'Sullivan, 1983). Bien que la majorité des lacs soit susceptibles de développer de telles lamines, celles-ci sont rarement conservées en raison des diverses perturbations qui tendent à brouiller la séquence sédimentaire, tels que l'activité des organismes benthiques et le phénomène de re-suspension des sédiments qui se produit lors du retournement des eaux (Mueller, 1964 ; Davis, 1968 ; Davis, 1974 ; Bloesch, 1994). La formation des varves est en réponse à différents processus climatiques, hydrologiques, limnologiques et biologiques (Ojala et *al.*, 2012).

Les lacs qui développent des varves présentent généralement des caractéristiques communes; une petite superficie par rapport à la profondeur, des zones littorales escarpées, un faible niveau d'oxygénation des eaux de profondeur qui inhibe l'activité des organismes (Auestad et *al.*, 2008 ) et un relief environnant les protégeant du mixage des eaux par l'action du vent (Tylmann et *al.*, 2012). Bien qu'ils ne soient pas indispensables à la conservation des varves, il a été démontré que la préservation des lamines annuelles survient généralement dans les lacs méromictiques (Anderson et *al.*, 1985 ; Larsen et *al.*, 1998). Dans ce type de lac, le mixage vertical dans la colonne d'eau ne survient que dans la partie supérieure, laissant ainsi les eaux profondes perpétuellement anoxiques (Anderson et *al.*, 1985 ; Tylmann et *al.*, 2012). Dans l'ensemble, les lacs méromictiques présentent un profil similaire en termes de température, de salinité et d'oxygène dissout (Tylmann et *al.*, 2012). La partie supérieure du profil, nommée mixolimnion, est caractérisée par une forte oxygénation et une faible salinité des eaux. Plus en profondeur se trouve la chimocline. Dans cette couche, la salinité tend à augmenter avec la profondeur alors que l'oxygène dissout chute de manière considérable. Finalement, dans la partie inférieure du profil, le monimolimnion, la concentration saline augmente et les eaux deviennent anoxiques (Anderson et *al.*, 1985). Par ailleurs, cette couche contient de fortes

concentrations de sulfure d'hydrogène et/ou de méthane résultant de la dégradation de la matière organique par les populations bactériennes évoluant en milieu anaérobie et de la réduction des sulfates (Anderson et *al.*, 1985). Anderson et *al.*, (1985) avancent que «si un lac est méromictique et contient des sédiments stratifiés, une interprétation annuelle des stratifications peut être avancée avec une certaine confiance» [traduction libre]. De plus, Tylmann et *al.*, (2012) mentionnent que «la relation entre des conditions anoxiques et la présence de sédiments laminés est confirmée par le fait que, dans les lacs, la distribution des lamines coïncide avec les zones où l'on retrouve des eaux hypolimniques» [traduction libre].

Les lacs, de façon générale, constituent de bons sites pour les études de nature paléoécologiques et paléoclimatiques, et ce, car ils agissent comme des récepteurs de pollens. La surface des lacs est un milieu ouvert où viennent se déposer les grains de pollen issus de la végétation environnante. En raison du lien qui unit la végétation et le climat, les lacs détiennent aussi des indices sur les conditions et les événements climatiques passés. Les grains de pollen, qui ont la particularité de résister à la plupart des attaques chimiques ainsi qu'aux dégradations physiques, ne sont par contre pas à l'abri de la dégradation due à l'oxydation (Jacobson et Bradshaw, 1981). En raison de leurs eaux anoxiques, les lacs méromictiques sont particulièrement recherchés pour les études palynologiques et paléoécologiques à haute résolution puisqu'ils présentent une séquence sédimentaire non ou faiblement altérée (McLeroy et Anderson, 1966 ; Larsen et *al.*, 1998 ; Lamoureux, 2001 ; Boës et Fagel, 2005). La conservation de la séquence provient du fait que ces lacs ne sont pas affectés par les facteurs physiques et biologiques de mixage des sédiments. Mais, par-dessus tout, les lacs méromictiques possédant des sédiments varvés sont des sites d'étude idéaux puisqu'ils permettent de jeter un regard sur le passé avec une haute précision temporelle, soit à l'échelle annuelle ou même saisonnière. Les sédiments varvés constituent un outil chronologique de haute précision utilisé lors des reconstitutions environnementales et climatiques (Lamoureux, 2001 ; Auestad et *al.*, 2008 ; Ojala et *al.*, 2012). Leur contenu sédimentaire reflète les variations saisonnières des apports allochtones et autochtones et des composantes clastiques et organiques (Saarnisto, 1986 ; Tiljander et *al.*, 2002). Les varves permettent d'étudier l'évolution

des écosystèmes en réponse aux perturbations naturelles et anthropiques, et ce, en minimisant les approximations chronologiques. L'utilisation des varves est la méthode de datation qui présente le plus faible niveau d'erreur (Woodhouse et Overpeck, 1998 ; St-Jacques et *al.*, 2008). Par ailleurs, les varves permettent de calculer avec justesse le taux d'accumulation annuel de n'importe quel constituant sédimentaire ( $\text{mm an}^{-1}$ ) ou des sédiments eux-mêmes en mesurant directement l'épaisseur des varves (Bloesch, 2004 ; Ojala et *al.*, 2012). Les sédiments varvés fournissent donc des informations fiables qui permettent d'identifier la variabilité climatique au cours du passé récent.

## **1.3 Méthodologie**

### **1.3.1 Méthodes sur le terrain**

#### **1.3.1.1 Bathymétrie**

Un profil bathymétrique du lac Brûlé a été produit à l'aide d'une sonde de profondeur. Pour l'élaboration de la carte, les données bathymétriques récoltées ont été importées dans ARCGIS. La cartographie des fonds lacustres a permis de localiser avec précision l'endroit le plus approprié pour faire le prélèvement des carottes.

#### **1.3.1.2 Profil physico-chimique du lac**

Différents paramètres physiques de l'eau ont été mesurés à tous les 2m depuis la surface du lac jusqu'en profondeur à l'aide d'une sonde multimètre YSI- modèle SCT. Les paramètres mesurés pour établir le profil du lac sont la conductivité, la température, le pH et l'oxygène dissout.

#### **1.3.1.3 Carottage**

Quatre carottes sédimentaires ont été récoltées à l'aide d'un carottier de type « gelé » (Shapiro, 1958). Le carottier gelé est formé d'un tube en aluminium d'un diamètre de ~5 cm et d'une longueur de 2 m. Le carottier est rempli d'un mélange de granules de glace sèche (CO<sub>2</sub> solide) et d'éthanol avant d'être relâché dans la zone la plus profonde du lac. Le carottier, qui s'enfonce dans les sédiments sous l'effet de la vitesse et de son poids, est remonté à bord de l'embarcation après une période de 10 minutes. Ce laps de temps permet aux sédiments d'adhérer au tube et de former couche sédimentaire uniforme. L'enveloppe de sédiment recouvrant ainsi le carottier est séparée de son support par l'ajout d'eau chaude dans le tube. Pour l'ensemble des carottes récoltées, la longueur se fixe autour d'un 1 m.

Durant le transport, les carottes sédimentaires ont été conservées dans un contenant isolé rempli de glace sèche. Les carottes, enveloppées d'un papier d'aluminium, ont ensuite été transférées dans un congélateur à  $-30^{\circ}\text{C}$ . Lorsque les sédiments de surface se présentent comme étant entièrement noirs, l'utilisation du carottier gelé permet de révéler la présence ou non de varves (Renberg, 1981). Ce type de carottier permet aussi d'éviter la perturbation des sédiments due à l'expansion des gaz dissouts qui y sont contenus (Rymer et Neale, 1981). Ce phénomène d'expansion des gaz, qui résulte des différences de pression qui existe entre les profondeurs et la surface, a pour effet de rendre les lamines imperceptibles en détruisant la structure sédimentaire (Riedel et *al.*, 2006). La présence de gaz dans les sédiments du lac Brûlé a donc justifié l'usage d'un tel type de carottier.

### **1.3.2 Méthodes en laboratoire**

Les carottes provenant du lac Brûlé présentent une succession de lamines. Ces lamines ont d'emblée été considérées comme étant des varves. Cette hypothèse a ensuite été testée à l'aide de diverses méthodes. Afin de contextualiser les différentes méthodes employées pour analyser les carottes, cette section débute par une brève description des sédiments et comporte donc une partie des résultats. Cette section est subdivisée selon quatre thématiques centrales: 1) la description des sédiments et l'établissement de la chronologie, 2) la validation de la chronologie, 3) l'étude des lamines et 4) l'extraction des grains de pollen.

#### **1) Description des sédiments et établissement de la chronologie**

##### **1.3.2.1 Description visuelle des carottes et analyse des lamines**

Les carottes extraites du lac Brûlé présentent une succession de couches sédimentaires noires et brunes. Les transitions entre les couches sombres et les couches claires sont généralement nettes et les carottes comportent peu de zones perturbées. L'épaisseur des lamines varie sensiblement le long des carottes, quoiqu'elles soient généralement fines. Les lamines claires sont plus épaisses que les lamines sombres. L'ensemble des carottes présente des micro-concrétions de vivianite (Figure 2). Ces concrétions sont de formes irrégulières et d'un diamètre généralement inférieur à 3mm. Ces dernières sont présentes tout au long des carottes. L'abondance et la taille des concrétions de vivianite sont plus importantes dans les sections comportant des lamines sombres et épaisses.

### **1.3.2.2 *Division des carottes en sections***

La présence de lamines distinctives a servi à diviser les carottes en six grandes sections. Bien que les limites des différentes sections sont uniquement basées sur les lamines distinctives, les lamines comprises à l'intérieur d'une section comportent généralement des caractéristiques semblables, et ce, en terme de structure et de couleur. Les lamines distinctives, au nombre de cinq, sont aisément identifiables en raison de leur couleur blanchâtre (Figure 3). Elles ont permis de corréliser les carottes entre elles et d'identifier les sections homologues.

Les sédiments de la zone supérieure des carottes (section A) sont d'aspect foncé et les lamines sont épaisses (Figure 4). La lamine distinctive I constitue la limite inférieure de cette section. L'interface est présente sur deux des quatre carottes étudiées, soit les carottes #4 et #5. Pour les carottes #3 et #7, l'interface a été fragmentée lors de la récolte.

La section B est comprise entre les lamines distinctives I et II. La transition entre la section A et la section B est marquée par des lamines devenant rapidement plus minces et pâles. Bien que cette section comporte peu de perturbations, le comptage des lamines a été davantage ardu en raison de la faible épaisseur de ces dernières.

Les lamines distinctives II et III délimitent la section la plus courte des carottes, soit la section C. Les lamines de cette section sont d'aspect similaire à celles de la section supérieure.

La section D, comprise entre les lamines distinctives III et IIII, se divise en deux zones distinctes. La zone supérieure (D1) comporte des lamines fines et claires alors que la zone inférieure (D2) est caractérisée par des lamines largement plus épaisses et foncées. La zone D2 présente une importante fissure, retrouvée dans l'ensemble des carottes autour du 50<sup>e</sup> cm. L'augmentation de l'épaisseur des lamines se produit de manière drastique.

Le passage vers la section suivante (E) est marqué par des lamines devenant fines à nouveau. Le contraste d'épaisseur entre les lamines des sections D2 et E est marquant (Figure 3).

Puisque le degré d'enfoncement du carottier dans les sédiments au moment de la récolte n'a pas été le même à chacun des essais, la section terminale (F) varie sensiblement en longueur d'une carotte à l'autre. La section F comporte les lamines les plus fines de la séquence sédimentaire. Les transitions entre les couches sont moins nettes que dans les autres sections.

### **1.3.2.3 Comptage des lamines et interdatation**

Le comptage et l'interdatation des lamines (Stokes et Smiley, 1996 ; Lamoureux, 2001) a été effectué sur quatre carottes provenant toutes de la zone la plus profonde du lac. Après avoir nettoyé la surface des carottes, celles-ci ont été laissées à découvert dans le congélateur à -30°C pour une période de quelques jours afin d'assécher légèrement la surface (Renberg, 1981). Cette étape a pour effet d'accentuer le contraste entre les couches claires et les couches sombres. Le comptage des varves a été effectué directement sur les carottes à l'aide d'une lunette de grossissement. Les bornes de marquage, indiquées par des épingles plantées dans les carottes, ont été placées à chaque dix couplets de lamines.

L'interdatation entre les quatre carottes a été effectuée grâce aux lamines distinctives « *marker beds* ». Ces couches sont aisément reconnaissables sur l'ensemble des carottes. Le calcul de l'erreur relié au comptage a été déterminé en comparant le nombre de couplets compris dans chacune des sections des quatre carottes (Tableau 1). Le calcul de l'erreur n'a pas été effectué pour la section terminale (section F) puisque les carottes ne possèdent pas toutes la même longueur. Dans la section A, l'absence de l'interface eau-sédiments pour les carottes #3 et #7 a forcé à ne retenir que les carottes #4 et #5 pour effectuer les calculs.

#### **1.3.2.4 Mesure de l'épaisseur des lamines**

L'épaisseur des lamines a été déterminée par mesure directe sur les carottes gelées. Les données réfèrent aux mesures en mm comprises dans un intervalle de dix couplets. Les mesures ont été répétées à trois reprises pour chacune des quatre carottes, pour un total de 12 répliques. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un banc manuel LINTAB et d'un enregistreur automatique type Measure J2X. La précision des mesures est de l'ordre du 1/1000<sup>ième</sup> de mm. Pour conserver les carottes gelées lors de la prise des mesures, elles ont été déposées dans un contenant rempli de granules de glace sèche.

#### **1.3.2.5 Perte au feu et contenu en matières carbonatées**

La méthode de la perte au feu est communément utilisée pour estimer le contenu en matières organiques et carbonatées des sédiments (Heiri et *al.*, 2001). Pour réaliser cette analyse, 0,5 cm<sup>3</sup> de sédiments ont été prélevés de la carotte #5 à tous les 10 ans, en se fondant sur la chronologie établie à partir du comptage des lamines. Les échantillons ont été placés dans des creusets préalablement pesés. Les échantillons ont ensuite été mis au four à 105°C pour une période de 24h afin de les assécher. L'étape suivante, visant à calciner la matière organique, consiste à placer les échantillons dans la fournaise à 550°C pour une durée de 4 heures. Finalement, afin d'éliminer les carbonates des échantillons, ces derniers ont été envoyés à nouveau dans la fournaise pour une période de 2 heures à 950°C. Après chaque étape, les échantillons ont été pesés afin de quantifier la perte de masse entraînée par la calcination par rapport au poids sec original des sédiments. Les résultats sont exprimés en pourcentage.

## 2) Validation de la chronologie

### **1.3.2.6 Datation au radiocarbone**

Deux sections de la carotte #5 ont été datées à l'aide de la méthode au radiocarbone. Les sections prélevées se trouvaient entre 67,5 cm et 69 cm ainsi qu'entre 81,5 cm et 83 cm à partir de l'interface de la carotte. La longueur des deux sections de sédiments correspond environ à 30 couplets. Les sédiments prélevés ont été placés dans des contenants en verre scellé pour être conservés au réfrigérateur à 4°C. Les sédiments ont ensuite été filtrés à l'aide d'eau dé-ionisée et d'un tamis de 90 µm. Suite au filtrage, les débris organiques grossiers ont été récupérés pour être observés sous le microscope. Seule la matière végétale (fragment de feuilles, aiguilles, graines, matières ligneuses, fibres, charbons) a été recueillie pour effectuer les datations. Les quantités de matière organique datées variaient entre 0,75 cm<sup>3</sup> et 1 cm<sup>3</sup>.

Les deux échantillons de sédiments ont été envoyés à Beta Analytic (Floride) pour effectuer les mesures de <sup>14</sup>C à partir de la spectrométrie de masse par accélérateur (SMA). Les âges radio carbonique obtenus ont ensuite été calibrés à l'aide du programme CALIB V6.0.0 et du logiciel Bacon Age-Modeling (Blaauw et Cristen, 2011).

La chronologie utilisée pour cette étude est dérivée du comptage et de l'interdatation des lamines. Les datations au radiocarbone et la vérification de la concordance entre l'apparition de l'ambrosie dans le profil pollinique et nos connaissances des événements historiques ont servi à vérifier le rythme annuel de déposition des couplets.

### 3) Étude des lamines

#### *Échantillonnage de la structure sédimentaire et imprégnation des sédiments*

Plusieurs méthodes ont été tentées afin de mieux connaître la composition des lamines et valider leur caractère annuel. La plupart de ces démarches n'ont cependant pas abouti à des résultats probants. La présentation de ces méthodes et des difficultés rencontrées vise à fournir des informations qui pourraient être utiles lors de futures études.

#### **1.3.2.7 Technique de pelage des sédiments à l'aide de ruban adhésif**

La technique de pelage des sédiments à l'aide de ruban adhésif a été utilisée afin de produire des sections verticales des carottes et ainsi étudier les détails stratigraphiques de la séquence (Davidson, 1988). Cette technique, développée par Simola (1979), est utile puisqu'elle permet de produire des sections qui conservent la structure sédimentaire. Un autre avantage de cette technique est que l'échantillonnage se fait directement sur les carottes gelées. Les sections produites sont destinées à l'observation microscopique. Pour procéder à cette technique, les carottes ont d'abord été nettoyées à l'aide d'une lame et laissées au congélateur pour une période suffisamment longue pour permettre aux sédiments de s'assécher à la surface. Par la suite, une fine couche de sédiments a été récoltée en posant des sections de ruban adhésif à la surface des carottes. Les rubans ont été montés sur des lames de microscopie afin de permettre un examen direct des lamines sous le microscope optique. Par ailleurs, les lames ont aussi été observées sous le microscope électronique à balayage. Malgré la simplicité et les nombreux avantages de cette méthode, les sections obtenues n'ont pas permis de distinguer de manière claire les lamines. Le contraste entre les différentes couches n'était pas visible. Par ailleurs, l'aspect inégal des sédiments rendait l'observation au microscope traditionnel et électronique à balayage très ardue.

### **1.3.2.8 Polyéthylène Glycol (PEG)**

Des sections de sédiments d'environ 1 cm par 5 cm ont été coupées directement dans les carottes afin de les imprégner de polyéthylène glycol 3350 de marque CARBOWAX. Ce polymère possède des propriétés hydrosolubles qui permettent l'imprégnation des sédiments pour ensuite procéder à l'observation sous l'œil du microscope (Mackenzie et Dawson, 1961 ; Takeda, 1987) ou au sous-échantillonnage des différentes couches (Swain, 1978). De nombreux essais ont été réalisés en variant les paramètres d'imprégnation et les combinaisons possibles (ratio eau: PEG, température du mélange et durée de la phase d'immersion des sédiments). Néanmoins, aucun des essais n'a fourni de résultats concluants. Cette méthode n'a pas réussi à conserver la structure sédimentaire et le contraste entre les lamines qui était pourtant apparent sur les carottes gelées.

### **1.3.2.9 Lames minces**

Plusieurs tentatives ont été faites afin de produire des lames minces à partir de quelques sections provenant des carottes. Les sections prélevées étaient de dimension similaire à celles utilisées lors des essais avec le PEG. L'imprégnation des sédiments dans une résine visait à acquérir une connaissance plus approfondie de la composition des lamines et de vérifier s'il existe une succession des composantes sédimentaire au cours d'un cycle de déposition. Les sections de sédiments ont tout d'abord été enveloppées dans un treillis à mailles métalliques ultrafines afin de maintenir la structure de la matrice (Lopez-Buendia, 1998 ; Tiljander et *al.*, 2002). Ensuite, afin de procéder à un remplacement progressif des eaux interstitielles contenues dans les sédiments par un solvant et, ultérieurement, par une résine, les sédiments ont subi de nombreuses phases de déshydratation au cours desquelles ils ont été immergés dans des bains de solvants (Pusch, 1999). Les deux premiers bains étaient constitués de formaline tamponnée 10% (Lopez-Buendia, 1998). Les sept bains subséquents se composaient d'éthanol dont la concentration était croissante à chacun des changements afin d'éviter un choc osmotique (Jim, 1985). Finalement, les six derniers bains étaient constitués d'acétone (trois

bains à une concentration de 90% et trois à 99,9%) (Conway, 1982 ; Lotter et Lemcke, 1999). Pour la phase de polymérisation, les sédiments ont été imprégnés dans une résine à faible viscosité selon le protocole de *Polysciences* dérivé de celui élaboré par Spurr (1969). Malgré les efforts déployés, la pénétration de la résine dans les sédiments n'a été que partielle et le durcissement de celle-ci ne s'est pas effectué complètement. La nature des sédiments, fortement organiques, expliquerait en partie les difficultés rencontrées. Néanmoins, quelques lames non polies ont pu être obtenues. Par contre, l'observation au microscope des lames n'a révélé aucune stratification apparente. Les phases répétées de déshydratation semblent être responsables de la détérioration de la structure des lamines (Boës et Fagel, 2005). La matrice sédimentaire présentait des distorsions relativement importantes.

#### **1.3.2.10 Observation des frottis (*smear slides*)**

De petites quantités de sédiments ont été prélevées des carottes et mélangées à de la glycérine afin de produire des lames à frottis. Les prélèvements, équivalent à une tête d'épingle, ont été effectués sur trois des cinq lamines distinctives ainsi que sur quelques varves de manière à isoler les sédiments provenant des couches sombres de ceux des couches claires. L'objectif principal de cette analyse était de comparer les couches claires aux couches sombres afin de déterminer s'il existe des différences en termes de composition des sédiments associées au cycle des saisons. Les lames ont été observées sous le microscope optique afin d'estimer le pourcentage de composantes minéralogiques, biogéniques et authigènes. Les estimations de chacune des composantes, établies par comparaison avec la charte de Tarduno et *al.*, (2002), fournissent une « instantaneous semi-quantitative compositional information » (Myrbo, 2007). En raison de leur faible abondance, certains éléments (diatomées, grains de pollen, spicules d'éponge, phytolithes, charbons, fragments d'insectes et d'arthropodes) n'ont pas été estimés selon la charte, mais ont été dénombrés. Pour chacune des lames, trois transects ont été effectués. L'identification des différentes composantes a été basée principalement sur les ressources en-ligne *Tool for Microscopic Identification* (Université du Minnesota, 2011; <https://tmi.lacore.umn.edu/>, dernière consultation: septembre 2013).

### **1.3.2.11 Bilan des analyses**

Malgré les efforts déployés, peu d'informations utiles ont pu être extraites des analyses présentées précédemment. Seule l'observation des frottis sédimentaires a généré des résultats intéressants. En raison des résultats décevants obtenus suite aux nombreuses tentatives d'échantillonnage de la structure et d'imprégnation des sédiments (pelage des sédiments à l'aide du ruban adhésif, polyéthylène glycol et lames minces), ces analyses ne seront donc pas abordées dans le reste de cette étude.

## 4) Extraction des grains de pollen et production des lames

### **1.3.2.12 Sous-échantillonnage et analyse pollinique**

Le sous-échantillonnage pour les analyses polliniques a été effectué sur la carotte #5, soit celle comportant la plus longue séquence de varves. La carotte a été sectionnée à l'aide d'une mini-scie en sections de 10 couplets. Les sédiments ont ensuite été placés dans un contenant en plastique et conservés au réfrigérateur à 4°C. Pour effectuer les traitements d'extraction des grains de pollen, 0,5 ou 1 cm<sup>3</sup> de sédiment ont été utilisés, selon la quantité disponible. Afin de calculer la concentration pollinique, deux comprimés de *Lycopodium* ont été ajoutés aux échantillons de 1 cm<sup>3</sup> de sédiment alors qu'un seul comprimé a été ajouté pour les échantillons de 0,5 cm<sup>3</sup>. Le traitement des sédiments a été fait selon le protocole standard (Faegri et Iversen, 1989). Le processus de traitement comprend diverses phases d'élimination des matières dont celles carbonatées (HCL), organiques (KOH et acétolyse) et siliceuses (HF). Le produit issu des traitements est ensuite mélangé à de l'huile de silicone pour assurer la conservation.

L'identification pollinique a été menée sur un microscope Leitz Diaplan à un grossissement de 400x. Les lames, identifiées selon l'âge des sédiments, ont été analysées dans un ordre aléatoire afin d'éviter toutes sources potentielles de biais au cours de l'analyse. Les grains de pollen ont été identifiés jusqu'à l'espèce, lorsque cela était possible, et jusqu'au genre ou à la famille dans les autres cas. Un minimum de 378 grains de pollen par lame ont été identifiés, excluant les grains exotiques servant de marqueurs (*Lycopodium*). Les documents de références qui ont servi à l'identification incluent des clefs de détermination des pollens (Richard, 1970; McAndrews *et al.*, 1973; Faegri et Iversen, 1989), des livres et manuels (Lewis *et al.*, 1983; Moore *et al.*, 1991; Traverse, 2007) ainsi que les lames composant la collection de référence de pollens du Laboratoire de Paléoclimatologie et Climatologie.

#### **1.3.2.13 Analyse des micro-charbons**

L'analyse des micro-charbons a été effectuée à partir des lames utilisées pour les analyses polliniques. Les particules de charbons ont été mesurées à l'aide d'un oculaire quadrillé fixé au microscope et classées en fonction de leur surface selon six classes distinctes (**1:**  $218,75 \leq < 437,5 \mu\text{m}^2$ , **2:**  $437,5 \leq < 875 \mu\text{m}^2$ , **3:**  $875 \leq < 1750 \mu\text{m}^2$ , **4:**  $1750 \leq < 3500 \mu\text{m}^2$ , **5:**  $3500 \leq < 7000 \mu\text{m}^2$ , **6:**  $> 7000 \mu\text{m}^2$ ). La quantification des micro-charbons a été menée jusqu'à ce que le nombre de grains exotiques compté atteigne approximativement la moitié du nombre compté lors des analyses polliniques. Le nombre de particules de charbon comptées varie donc d'une lame à l'autre. L'analyse des lames a été faite selon un ordre aléatoire. Pour chacune des lames, l'aire totale couverte par les particules de charbons a été calculée à l'aide de la moyenne géométrique des différentes classes. Les résultats des analyses sont exprimés en termes de concentration des micro-charbons, calculée à partir du nombre de grains de *Lycopodium* compté, et de l'influx sédimentaire.

#### **1.3.2.14 *Présentation et analyse des résultats***

Les résultats des analyses sur les grains de pollen et les micro-charbons sont présentés à l'aide de diagrammes stratigraphiques, lesquels ont été élaborés à partir du logiciel C2 (<http://www.staff.ncl.ac.uk/staff/stephen.juggins/software/C2Home.htm> ; Juggins, 2013). Les résultats des analyses polliniques sont exprimés en pourcentage par rapport à la somme pollinique et aux spores (excluant les espèces aquatiques) et en terme de concentration et de taux d'accumulation pollinique (TAP). Le taux d'accumulation, basé sur la concentration pollinique, permet de mieux comprendre si les différentes concentrations sont attribuables à une forte production pollinique ou à un faible taux d'accumulation des sédiments (Bennett et Willis, 2001).

#### **1.3.2.15 *Zonation***

Une analyse des composantes principale a été menée sur les données polliniques afin de mieux discerner les relations qui existent entre les différentes espèces. Les trois premières composantes principales ont été retenues pour délimiter le diagramme pollinique en différentes zones.

#### **1.3.2.16 *Reconstitution paléoclimatique***

Les températures annuelles moyennes et les précipitations annuelles ont été reconstituées à l'aide de la technique des analogues modernes (Sawada, 2006) et de la base de données moderne des pollens de l'Amérique du Nord (Whitmore et *al.*, 2005). La méthode des analogues modernes compare des spectres polliniques anciens à des spectres modernes. En se basant sur ces comparaisons, il est possible de retracer les localités dont la composition du spectre pollinique est la plus similaire à celle du spectre fossile et ainsi inférer les conditions abiotiques et biotiques au moment de la déposition. Un total de 24 espèces arboréennes et

d'arbustes a été retenu pour effectuer les analyses incluant *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Cupressaceae*, *Larix*, *Tsuga*, *Betula*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Ulmus*, *Ostrya/Carpinus*, *Acer*, *Fagus*, *Carya*, *Juglans*, *Tilia*, *Platanus*, *Castanea*, *Celtis*, *Corylus*, *Alnus*, *Salix* et *Myrica* (Paquette et Gajewski, 2013; Keizer, 2013). Dans le but de circonscrire les analogues potentiels dans la zone de végétation étendue où se trouve le site d'étude, certains sites ont été exclus de la banque de données. Seuls les sites compris entre 30° et 50°Nord (latitude) ainsi qu'entre 50° et 95° Ouest (longitude) ont été retenus. La moyenne des trois premiers analogues a été utilisée pour procéder à la reconstitution (Williams and Shuman, 2008).

## **Chapitre 2. Dynamiques de la végétation en regard des variabilités climatiques au cours de l'Holocène tardif, Outaouais, Québec.**

### **2.1 Introduction**

De nombreuses études ont mis en évidence la relation étroite qui existe entre le climat et la végétation. Ces études ont permis de mieux cerner les facteurs climatiques qui sont le plus susceptibles d'affecter la végétation, notamment en termes de distribution, de composition et d'abondance (Prentice, 1983 ; Gajewski, 1987 ; Gajewski, 1988 ; Dyke, 2005 ; Williams et *al.*, 2011). Bien qu'hautelement complexes, les mécanismes de réponse d'un biome suite à des variations climatiques millénaires sont assez bien connus (Prentice et *al.*, 1991; Carcaillet et Richard, 2000 ; Peros et *al.*, 2008; Richard et Grondin, 2009; Jiménez-Moreno et *al.*, 2010; Blois et *al.*, 2013). Par contre, sur des échelles temporelles et spatiales réduites, ces mécanismes sont moins bien compris. Cette étude tente donc de mieux comprendre les dynamiques d'une communauté végétale sous l'influence de variations climatiques de courte durée.

Des études palynologiques menées à travers l'Amérique du Nord ont su démontrer les nombreux changements qui se sont produits dans le paysage depuis la dernière déglaciation, dont le processus de migration nordique de la végétation en réponse aux changements climatiques (Bernabo et Webb, 1977 ; Davis, 1983a-b ; Gajewski, 1987 ; Prentice et *al.*, 1991; Overpeck et *al.*, 1992 ; Clet-Pellerin et Occhietti, 2000 ; Jackson et *al.*, 2000; Shuman et *al.*, 2002a-b; William et *al.*, 2004 ; Dyke, 2005 ; Marsicek, 2013). La plupart de ces études ont été réalisées sur une grande échelle temporelle. Leur faible niveau de résolution temporelle limite grandement leur portée et les conclusions qui peuvent en être tirées. Bien que ces études aient permis d'étudier la variabilité climatique sur une échelle millénaire, elles ne peuvent cependant pas fournir un niveau suffisant d'informations pour déceler des variabilités de plus courte durée. Pour la période de l'Holocène, ces études ont seulement été en mesure d'identifier les grands changements qui se sont opérés dans le paysage. Plus récemment, des études paléoécologiques

ont tenté de mieux comprendre les effets des variations climatiques abruptes et/ou de courte durée sur la végétation (Lévesque et *al.*, 1993 ; Peteet, 2000 ; Tinner et Lotter, 2001 ; William et *al.*, 2002 ; Paquette et Gajewski, 2013). Bien que ces études aient associé directement ou indirectement les changements observés dans les assemblages polliniques à des variations du climat, la nature de la relation reste équivoque. La capacité de réponse de la végétation suite à des oscillations climatiques de courte durée reste plutôt méconnue.

La visée principale de cette étude est d'approfondir les connaissances quant à l'histoire de la végétation dans la région de l'Outaouais. Cette étude tente aussi de mieux comprendre les mécanismes de réponse de la végétation envers les variabilités climatiques à court terme et les feux. L'examen d'assemblages polliniques fossiles à une haute résolution temporelle vise à déterminer s'il est possible de déceler des variations subtiles dans la composition de la végétation en réponse à des variations climatiques d'ordre décennales ou centenaires, tels que le Petit-Âge glaciaire et l'Optimum climatique médiéval.

Le site choisi pour ces fins, le lac Brûlé, se situe dans la municipalité de Mulgrave-et-Derry, dans la région de l'Outaouais, dans l'ouest du Québec (Figure 1). Des analyses polliniques ont été menées sur une carotte sédimentaire extraite du lac afin d'examiner les dynamiques de la végétation au cours de l'Holocène tardif. En comparant les présents résultats à ceux issus des autres études palynologiques menées dans la région, cette étude tente de valider avec plus de précision la chronologie des événements environnementaux passés et de déterminer l'étendue spatiale de ceux-ci (locaux ou régionaux). Les différentes analyses ont permis de reconstruire l'histoire de la végétation et du climat au cours des derniers 1400 ans et de vérifier la capacité d'enregistrement de variations climatiques de courte durée par le diagramme pollinique.

Afin d'explorer la problématique liée aux mécanismes de réponse de la végétation face à de courtes variations climatiques et à la capacité d'enregistrement de ceux-ci dans les spectres polliniques fossiles, la réalisation d'études palynologique à haute résolution temporelle est nécessaire. Dans la région de l'Outaouais, peu d'études possédant ce type de résolution ont été

produites, et ce, en raison du montant de temps à consacrer à l'identification des grains de pollen et au risque élevé relatifs à l'élaboration de la chronologie. Compte tenu des limites de tolérance climatiques plus ou moins élevées et de la durée de vie des différentes espèces arboréennes, on considère généralement que la composition d'un milieu n'est pas appelée à changer à l'intérieur d'un siècle à moins de perturbations majeures ou stochastiques. Les modèles de reconstitution de la végétation qui se basent sur les grains de pollen fossiles sont d'ailleurs élaborés selon cette conception. La présente étude questionne la capacité de réponse de la végétation suite à des variations climatiques de courte durée et la manière dont ces variations se traduisent dans les assemblages polliniques fossiles.

Le lac Brûlé (45°43'09" N, 75°26'32"O 270 m) se trouve dans la province géologique de Grenville, plus précisément dans la ceinture allochtone (Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'information géologique du Québec, Gouvernement du Québec, 2012). Ce lac a été sélectionné suite aux forages ayant démontré la présence de lamines dans les sédiments. La géologie locale se compose principalement de quartzite, de paragneiss, de pegmatite et de granite. Le lac Brûlé, de forme allongée, est constitué de deux bassins interconnectés par un passage plus étroit. Il possède une superficie de 10 ha et une profondeur maximale de 43 m. La végétation environnante se compose de forêt mixte, caractéristique de la zone de transition entre la forêt boréale située plus au nord et la forêt décidue au sud (Burns, 1990 ; Richard, 1993). Les données météorologiques de quatre stations situées près du lac Brûlé indiquent que, pour la période de 1971 à 2000, la moyenne des températures annuelles était de 5°C et celle des précipitations était de 1054 mm (Tableau 1).

L'histoire du peuplement de cette région par les Européens est liée au système de concession des terres mis en place vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle par le gouvernement du Canada. Ce régime, visant à endiguer l'exode des jeunes citoyens vers l'ouest du pays et les États-Unis, concédait des terres « dans une région reculée où le sol est habituellement pauvre et les conditions de vie pénibles » (Biehler, 1990) à qui voulait bien devenir fermier. Alors que cette

initiative a mené à l'établissement des premiers colons, le développement de la région de Mulgrave-et-Derry est, quant à lui, lié à l'exploitation forestière.

## **2.2 Méthodes**

### **2.2.1 Terrain**

En juin 2013, le profil physico-chimique du lac a été établi grâce aux différents paramètres mesurés (conductivité, température, pH et oxygène dissout). Les mesures ont été réalisées à tous les 2 m depuis la surface jusqu'à 40m de profondeur à l'aide d'une sonde multi-mètre YSI- modèle SCT. L'endroit le plus approprié pour effectuer le prélèvement des carottes a été déterminé après avoir réalisé un profil bathymétrique du lac à l'aide d'une sonde de profondeur (Figure 1).

Quatre carottes sédimentaires ont été récoltées à l'automne 2012 à l'aide d'un carottier de type « gelé » (Shapiro, 1958). Les carottes, enveloppées d'un papier d'aluminium, ont ensuite été conservées dans un congélateur à  $-30^{\circ}\text{C}$ .

### **2.2.2 Analyse des sédiments et développement de la chronologie**

Les lamines observées sur les carottes du lac Brûlé ont d'emblée été considérées comme étant des varves. Différentes méthodes de datation et d'analyse des sédiments sont ensuite venues confirmer cette hypothèse. Les aspects concernant la validation du rythme de déposition annuel des lamines sont énoncés dans les résultats et la discussion.

Le comptage a été effectué directement sur les carottes à l'aide d'une lunette de grossissement. Les lamines ont été comptées sur les quatre carottes. L'interdatation («*cross-dating*») (Stokes et Smiley, 1996 ; Wigley et *al.*, 1987; Lamoureux , 2001) entre les carottes a

été effectuée grâce aux lamines dites «distinctives». Les bornes de marquage, indiquées par des épingles plantées directement dans les sédiments, ont été placées à chaque intervalle de dix couplets de lamines. Lorsque l'interdatation a été achevée, une seule carotte a été retenue pour effectuer l'ensemble des analyses. L'épaisseur des lamines a été déterminée par mesure directe sur les carottes gelées à l'aide d'un banc manuel LINTAB et d'un enregistreur automatique type Measure J2X. La chronologie et les diagrammes sont basés sur l'interdatation des lamines.

Les sédiments ont été analysés afin de déterminer leur contenu en matières organiques et carbonatées (Heiri et *al.*, 2001). L'unité d'échantillonnage utilisée pour procéder à ces analyses est la même que celle employée pour les analyses polliniques, soit à un intervalle de dix couplets.

Pour vérifier la nature annuelle des lamines, trois méthodes ont été utilisées : la datation au radiocarbone, la comparaison de la date d'apparition de l'ambrosie dans le profil pollinique à celles des événements historiques marquants dans la région et l'analyse des frottis sédimentaires afin d'identifier possiblement un patron saisonnier dans la composition des différentes couches. Pour les deux datations, les débris organiques (fragments de feuilles, aiguilles, graines, matières ligneuses, fibres, charbons) contenus dans les sédiments ont été recueilli manuellement et envoyés au laboratoire Beta Analytic (Floride) pour effectuer les mesures de  $^{14}\text{C}$  par la spectrométrie de masse par accélérateur (SMA). Les âges radio carbonique obtenus ont ensuite été calibrés à l'aide du programme CALIB V6.0.0 et du logiciel Bacon (Blaauw et Cristen, 2011).

L'analyse des sédiments a été réalisée grâce à l'observation des frottis. De petites quantités de sédiments (l'équivalent d'une tête d'épingle) ont été prélevées des carottes et mélangées à de la glycérine afin de produire des lames à frottis. Les prélèvements ont été effectués sur quatre des cinq lamines distinctives ainsi que sur quelques varves de manière à isoler les sédiments provenant des couches sombres de ceux des couches claires. Les lames ont été observées sous le microscope optique afin d'estimer le pourcentage de chacune des

composantes (minéralogiques, biogéniques et authigènes). Les estimations ont été établies par comparaison avec la charte de Tarduno *et al.* (2002).

### **2.2.3 Analyses en laboratoire**

Le sous-échantillonnage pour les analyses polliniques a été effectué sur la carotte #5, soit celle comportant la plus longue séquence de varves. La carotte a été sectionnée à l'aide d'une mini-scie en sections de 10 couplets. Afin de procéder à l'extraction des grains de pollen, les sédiments ont été traités selon les méthodes usuelles de préparation qui utilisent diverses phases d'élimination des matières carbonatées (HCL), organique (KOH et acétolyse) et siliceuses (HF). (Faegri et Iversen, 1989). Deux comprimés de *Lycopodium* ont été ajoutés aux échantillons de 1 cm<sup>3</sup> alors qu'un seul comprimé a été ajouté pour les échantillons de 0,5 cm<sup>3</sup>. L'identification pollinique a été menée à un grossissement de 400x. La majorité des grains de pollen a été identifiée jusqu'au genre. Lorsque possible, l'identification a été menée jusqu'à l'espèce et, dans tous les autres cas, jusqu'à la famille. Un minimum de 378 grains de pollen par lame a été identifié, excluant les grains exotiques servant de marqueurs (*Lycopodium*). Les documents de références ayant servi à l'identification incluent des clefs de détermination des pollens (Richard, 1970; McAndrews *et al.*, 1973; Faegri et Iversen., 1989), des livres et manuels (Lewis *et al.*, 1983; Moore *et al.*, 1999; Traverse, 2007) ainsi que les lames composant la collection de référence de pollens du Laboratoire de Paléoclimatologie et Climatologie. Les résultats des analyses polliniques sont exprimés sous la forme du pourcentage de la somme totale, en excluant les grains de pollen des plantes aquatiques (Bennett et Willis, 2001).

Une analyse des micro-charbons a aussi été réalisée à partir des lames utilisées pour les analyses polliniques. Les particules de charbons ont été mesurées à l'aide d'un oculaire quadrillé fixé au microscope et classées en fonction de leur surface selon six classes distinctes (**1:** 218,75 ≤ - <437,5 μm<sup>2</sup>, **2:** 437,5 ≤ - <875 μm<sup>2</sup>, **3:** 875 ≤ - <1750 μm<sup>2</sup>, **4:** 1750 ≤ - <3500 μm<sup>2</sup>, **5:** 3500 ≤ - ≤7000 μm<sup>2</sup>, **6:** >7000 μm<sup>2</sup>). L'aire totale de l'ensemble des particules de charbons a été calculée à l'aide de la moyenne géométrique.

#### **2.2.4 Analyses numériques**

Les résultats des analyses sur les grains de pollen et les micro-charbons sont présentés à l'aide de diagrammes stratigraphiques, lesquels ont été élaborés à partir du logiciel C2 (<http://www.staff.ncl.ac.uk/staff/stephen.juggins/software/C2Home.htm> ; Juggins, 2013). Les résultats des analyses polliniques sont exprimés en pourcentage par rapport à la somme pollinique et aux spores (excluant les espèces aquatiques) et en terme de concentration et de taux d'accumulation pollinique (TAP).

Une analyse des composantes principale a été menée sur les données polliniques afin de mieux discerner les relations qui existent entre les différentes espèces. Les trois premières composantes ont été retenues pour délimiter le diagramme pollinique en différentes zones.

Les températures annuelles moyennes et les précipitations annuelles ont été reconstituées à l'aide de la technique des analogues modernes (Lytle et Wahl, 2005 ; Sawada, 2006) et de la base de données moderne des pollens de l'Amérique du Nord (Whitmore et *al.*, 2005). Un total de 24 espèces arboréennes et d'arbustes a été retenu pour effectuer les analyses (Paquette et Gajewski, 2013). Les résultats représentent la moyenne des trois premiers analogues (Williams and Shuman, 2008).

## 2.3 Résultats

### 2.3.1 Profil physico-chimique du lac

Les mesures relatives au profil physico-chimique du lac Brûlé ont été réalisées le 1<sup>er</sup> juin 2013. À cette date, la température se maintenait autour de 12,6°C dans les quatre premiers mètres (Figure 5). À 5m, la température subie une chute de plus de 7°C. Entre 6 à 40m, la température oscille entre 4 et 6°C. De 6 à 22m, la température diminue de manière légère. Puis, de 22 à 40m, elle augmente graduellement pour atteindre 6,1°C en profondeur. Les enregistrements des températures indiquent de manière claire la présence d'une stratification thermique dans le lac, avec la thermocline située à 5 m.

Jusqu'à 30 m de profondeur, les valeurs du pH oscillent autour de 7, avec quelques valeurs isolées présentant un faible écart à la moyenne. La chute des valeurs du pH qui s'opère entre 30 et 32 m témoigne de la présence d'une zone de transition. De 32 m jusqu'en profondeur, le pH se stabilise autour de 6,2.

L'oxygène dissout, élevé à la surface en raison des échanges entre les eaux et l'atmosphère, subit une baisse importante (14,7%) entre 4 et 6m. Au cours des 20m subséquent, l'oxygène diminue, mais de manière graduelle. À partir de 26m, l'oxygène dissout se met à chuter pour atteindre 3,7% à 40m.

Jusqu'à 30 m de profondeur, la conductivité est pratiquement nulle. La moyenne des valeurs se situe à 89, 12  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Sous 30 m, la conductivité des eaux augmente de manière fulgurante pour finalement atteindre 1459  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 40m.

### **2.3.2 Analyses sédimentaires**

Les sédiments du lac Brûlé sont composés d'une série continue de lamines de couleur noire et brune (Figure 2 & 3). Les lamines sont fines et généralement nettes. Les carottes présentent une séquence stratifiée ininterrompue et comportent peu de sections perturbées. La présence de lamines distinctives a servi à diviser les carottes en six sections (Figure 4). Ces lamines sont des indices de la simultanéité et de l'uniformité de la déposition des lamines à travers le bassin (Ludlam, 1969). Les sections des carottes présentent des différences plus ou moins grandes en termes de couleur, de structure ou de netteté. Les transitions entre les sections sont parfois abruptes. Par exemple, dans la partie médiane des carottes, on observe une augmentation marquée de l'épaisseur des lamines.

Le pourcentage de matières organiques dans les sédiments est relativement constant tout au long de la séquence (Figure 6). Le contenu organique (perte au feu - 550°C) moyen s'élève à 46%. Entre 1375 et 1575 AD, les pourcentages des matières organiques diminuent légèrement. Pour cette même période, on observe une hausse des pourcentages des matières carbonatées (perte au feu - 950°C). Le contenu carbonaté des sédiments varie sensiblement tout au long de la carotte. On note une légère baisse des valeurs entre 1575 AD et aujourd'hui par rapport à la période comprise entre 600 et 1375 ans AD.

### **2.3.3 Établissement de la chronologie**

La présence de lamines distinctives sur les cinq carottes a permis de les interdater (Lamoureux, 2001). Les erreurs liées au comptage ont été calculées en comparant le nombre de couplets ayant été compté dans une section par rapport aux sections homologues des autres carottes (Tableau 1). Les erreurs de comptage varient donc en fonction des différentes sections. Les erreurs de comptage se fixent à  $\pm 13$  couplets pour l'ensemble des sections étudiées, en excluant la partie terminale des carottes. Les résultats du comptage des lamines, rectifiés par l'interdatation, ont servi à élaborer la courbe de l'âge en fonction de la profondeur (Figure 7). La

chronologie finale comporte 1390 années. Deux des quatre carottes récoltées possèdent une chronologie considérée comme étant absolue puisque la séquence sédimentaire (lamines) s'étend jusqu'à l'interface eau-sédiment, signifiant que les dépôts sont modernes (Ojala et *al.*, 2012).

#### **2.3.4 Validation de la chronologie**

Afin de valider la chronologie basée sur le comptage des lamines et ainsi démontrer leur caractère annuel, trois analyses indépendantes ont été menées, soit, (a) la datation de deux échantillons par la méthode au radiocarbone, (b) la datation à l'aide de la montée de l'ambrosie comme événement historique de référence (Ojala et *al.*, 2012) et, (c) l'analyse de la composition des différentes couches sédimentaires.

Les deux datations (Tableau 2) interceptent la courbe de l'âge en fonction de la profondeur, et ce, à l'intérieur d'un sigma dans l'un des deux cas (Figure 7).

Afin de tester la relation entre l'âge et la profondeur à laquelle ont été récoltés les sédiments, les résultats des deux datations ont été investigués davantage en les analysant à l'aide du modèle âge-profondeur bayésien Bacon (Blaauw et Christen, 2011). Selon ce modèle, la déposition sédimentaire a été relativement constante tout au long de la carotte. Le rythme d'accumulation ne présente pas de discontinuités ou de variations majeures. La courbe de l'âge en fonction de la profondeur, élaborée à partir des données du comptage et des mesures de l'épaisseur des lamines, présente quant à elle plus de variabilités. Néanmoins, la courbe croise les intervalles de probabilités des deux datations au radiocarbone.

L'observation des frottis sédimentaires a révélé qu'on retrouve davantage de fragments de plantes vasculaires, de spicules d'éponge, de cladocères, d'ostracodes, de particules de calcite et de limons dans les couches claires (Tableau 3). Pour les lamines sombres, la moyenne du rapport des diatomées centriques sur les pennées est de  $0,99 \pm 0,27$ . Pour les lamines claires,

cette moyenne se fixe à  $1,86 \pm 0,43$ . Deux des lamines distinctives (1350 et 1615 AD) sont composées pratiquement en totalité de diatomées pennées. Les deux autres lamines distinctives observées (1030 et 1650 AD) ne présentent pas de tendance claire en terme de composition.

### **2.3.5 Analyse pollinique**

Le diagramme des pourcentages polliniques (Figure 8) a été divisé en trois zones majeures établies à partir des résultats de l'analyse des composantes principales (précisions ci-après).

Dans la zone A (615 à 1375 AD), *Tsuga*, *Acer* et *Fagus* présentent des valeurs des pourcentages élevées alors que celles de *Pinus Diploxylon*, *Pinus Haploxylon* et *Picea* sont basses. La fin de cette zone correspond à une diminution marquée des pourcentages de *Tsuga*, *Acer* et *Fagus*.

De manière générale, dans la zone B (1375 à 1860 AD), on observe une augmentation des pourcentages de *Pinus Diploxylon* et *Haploxylon*. Une légère augmentation est aussi observée chez *Picea* et *Alnus* au cours de cette période. La zone B se subdivise en 4 sous-zones, nommées B1, B2, B3 et B4. Dans la première sous-zone, B1 (1375 à 1450 AD), on remarque une chute drastique des pourcentages de *Tsuga* et *Acer*. Cette chute est accompagnée par une augmentation de *Betula*, *Alnus*, *Salix* et des spores. Au cours de la sous-zone B2 (1450 à 1600 AD), *Pinus* enregistre une croissance alors que les pourcentages de *Betula*, d'*Alnus* et des spores diminuent graduellement. *Salix*, qui avait connu une montée fulgurante au cours de la zone B1, retombe à des valeurs infimes. La zone B3 (1600 à 1700 AD) est marquée par une diminution importante d'*Acer* accompagnée par une augmentation graduelle de *Picea* et d'*Ostrya-Carpinus*. Au cours de cette période, les valeurs de *Fagus* et *Betula* atteignent leur plus faible niveau. Les pourcentages de *Quercus*, *Alnus* et des autres arboréens présentent une brève augmentation. Dans la dernière sous-zone, soit B4 (1700 à 1860 AD), *Betula* et *Fagus* retournent à des valeurs

semblables à celles rencontrées dans la zone B2 alors que *Pinus* et *Picea* maintiennent des valeurs élevées.

Finalement, dans la zone C (1860 à 2012 AD), les pourcentages de *Pinus* Haploxyton, *Tsuga* et *Fagus* diminuent. La zone C se caractérise par un accroissement considérable des pourcentages de *Quercus*, *Alnus*, *Myrica*, *Salix* et des autres arbustes. On remarque aussi une hausse notable des espèces non-arboréennes telles que *Ambrosia*, *Gramineae* et *Chenopodiaceae*.

Les tendances majeures observées dans le diagramme des pourcentages correspondent essentiellement à celles retrouvées dans le diagramme du taux d'accumulation pollinique (Figure 9). Dans la zone A, l'influx pollinique de *Tsuga*, *Acer* et *Fagus* est plutôt élevé. Vers 1375 AD, ces mêmes espèces enregistrent un déclin. Ce changement correspond au début de la zone B, au cours de laquelle on observe un accroissement des valeurs de l'influx pour *Pinus*, *Picea*, les autres arboréens et les arbustes. Entre 1375 AD et 1450 AD, l'influx pollinique total augmente considérablement. Au cours de cette période, plusieurs espèces d'arboréens (*Acer*, *Ostrya-Carpinus*, *Betula*, *Fagus*, *Quercus*) ainsi que les arbustes et les spores affichent un pic.

Entre 1600 AD et 1700 AD, toutes les espèces arboréennes à l'exception de *Pinus* et *Picea* affichent une diminution de leur influx. Cela se traduit d'ailleurs par l'abaissement le plus important de l'influx total au cours de la séquence. Pour la période allant de 1860 à 2012 AD (zone C), on note une augmentation de l'influx des pollens de *Quercus*, des arbustes, d'*Ambrosia* et des autres non-arboréens.

### **2.3.6 Analyses multivariées**

Une analyse des composantes principales a été menée sur les données polliniques du lac Brûlé. Bien que les valeurs propres (eigenvalues) du diagramme d'éboullis (scree plot) démontrent que les deux premières composantes expliquent à elles seules près de 40% de la

variance des données (Figure 10), la troisième composante principale a tout de même été retenue puisque celle-ci affiche des variations intéressantes qui permettent de raffiner l'analyse des changements qui se sont produits dans les assemblages polliniques au cours de la zone B. Les différentes zones polliniques ont donc été établies en fonction des changements observés dans les trois premières composantes, qui explique 47,1 % de la variance totale des données.

Pour la première composante, les pointages (scores) sont négatifs dans la zone A (Figure 11). Ils deviennent ensuite positifs dans les zones B et C. La transition entre les zones A et B se fait de manière abrupte. Les pointages de la zone C augmentent de manière importante par rapport à ceux de la zone précédente. La composante 1 est corrélée négativement avec *Tsuga*, *Acer*, *Fagus* et corrélée positivement avec *Picea*, *Pinus Haploxyton* et les herbacées (Figure 12).

La deuxième composante présente des pointages plutôt bas et majoritairement positifs dans la zone A et B1. Dans la zone B2-B4, les valeurs deviennent négatives. Finalement, la zone C possède des pointages positifs et élevés. La composante 2 est négativement corrélée avec *Pinus Haploxyton* et *Diploxyton* et positivement corrélée avec les herbacées et les arbustes. (Figure 12).

Pour la troisième composante, les pointages dans la zone A varient autour de zéro. L'oscillation des pointages entre des valeurs positives et négatives a permis de diviser la zone B en quatre sous zones. Dans les zones B1 et B3, les pointages sont positifs alors qu'ils sont négatifs pour les zones B2 et B4. La zone C poursuit la tendance amorcée dans la sous-zone précédente (B4) avec des valeurs négatives. La composante 3 est négativement corrélée avec *Pinus*, *Picea*, *Thuja/Juniperus*, *Ambrosia*, les graminées et *Chenopodiaceae* et est positivement corrélée avec *Ostrya-Carpinus*, *Myrica*, les arbustes et les spores (Figure 13).

### **2.3.7 Micro-charbons**

Tout au long de la séquence sédimentaire, le taux d'accumulation des charbons est généralement peu élevé. Une première augmentation subite de l'influx des micro-charbons se produit entre 1365 et 1405 AD (Figure 14). Quoiqu'un un second pic culmine à 1495 AD, celui-ci n'est formé que d'un échantillon unique. Finalement, à partir du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle jusqu'à aujourd'hui, le montant de charbons augmente de manière plus progressive.

### **2.3.8 Reconstitution climatique**

Les différentes divisions des périodes (zone d'assemblages polliniques ou ZAP) qui ont été utilisées pour la reconstitution sont les mêmes que celles employées pour les diagrammes polliniques. La moyenne des données des températures pour l'intégralité de la séquence se situe à 5,26°C alors que la moyenne des précipitations annuelles se fixe à 950mm.

Dans la zone A (615 à 1375 AD), les températures moyennes annuelles sont majoritairement au-dessus de la moyenne de la séquence. La courbe des précipitations démontre beaucoup de variabilités. Néanmoins, dans la première portion de la zone (615- 1000 AD), la courbe suggère des conditions climatiques plus sèches alors que la seconde portion (1000-1375 AD) connaît une augmentation des précipitations, suggérant des conditions plus humides.

La zone B présente des données de température sous la moyenne de la séquence. Cette tendance suggère un refroidissement climatique qui aurait culminé autour de 1675 AD. Un autre refroidissement appréciable s'observe vers 1425 AD. De manière générale, la zone B est une période plus sèche, mais les valeurs obtenues se maintiennent néanmoins près de la moyenne. La valeur des précipitations la plus basse atteinte au cours de cette période se fixe à 791,7 mm.

La zone C affiche une augmentation des précipitations et des températures, lesquelles connaissent un accroissement plus marqué autour de 1880 AD.

La présente reconstitution climatique a été comparée à une autre reconstitution faite à une haute résolution temporelle dans la région de l'Outaouais, soit celle provenant du lac Noir (Paquette et Gajewski, 2013). Les tendances des températures et des précipitations qui se dégagent des deux reconstitutions sont similaires (Figure 16). Le lac Brûlé et le lac Noir affichent des conditions climatiques plus chaudes et humides au cours de l'Optimum climatique médiéval (zone A) et des conditions plus froides et sèches durant le Petit-Âge glaciaire (zone B3). Ces résultats concordent avec ceux issus de précédentes études menées à travers l'Amérique du Nord.

## **2.4 Discussion**

### **2.4.1 Sédimentation et chronologie**

La chronologie utilisée pour effectuer les différentes analyses est basée uniquement sur le comptage des lamines, visibles sur l'intégralité de la séquence sédimentaire. Plusieurs évidences suggèrent que les lamines se déposent selon un cycle annuel et constituent ainsi des varves. Les méthodes de datation employées, autres que le comptage, ont uniquement servi à vérifier l'annualité du rythme de déposition des couplets de lamines. Différents indices supportent le fait que les lamines constituent des varves : la méromicticité du lac, les observations quant à la composition des couches, les datations  $^{14}\text{C}$  et la montée de l'ambroisie dans le profile pollinique.

Les relevés des températures de l'eau démontrent clairement l'existence d'une stratification dans le lac. La zone de transition thermique qui s'opère entre 4 et 6m correspond à la thermocline. Dans l'hypolimnion, les températures restent relativement constantes, variant entre 4 et 6°C. La chute rapide du niveau d'oxygène qui s'opère à partir de 26 m correspond à l'oxycline. Sous cette profondeur, l'infinité des valeurs de l'oxygène dissout révèle l'état anoxique des eaux. Par ailleurs, une forte odeur de sulfure d'hydrogène émanait des échantillons d'eau prélevés dans le fond du lac. La présence de sulfure d'hydrogène en milieu lacustre résulte du procédé de décomposition anaérobie de la matière organique par la flore bactérienne : la méthanisation (Winfrey et Zeikus, 1979 ; Tylmann et *al.*, 2012). Cet indice supplémentaire vient corroborer les précédents résultats montrant l'épuisement de l'oxygène dans les eaux de profondeur. La présence de sulfure expliquerait, entre autres, la diminution du pH observée sous 30 m. Sous l'oxycline se trouve la chimocline. Cette zone se discerne par l'augmentation marquée de la conductance sous 30 m. Une telle augmentation de la conductance de l'eau est liée à une forte teneur en ions. Un tel niveau de solides dissous dans la couche anoxique pourrait être lié à la minéralisation microbienne de la matière organique et à

la dissolution de la calcite précipitée (Tylmann et *al.*, 2012). La présence d'une eau fortement minéralisée induit un haut gradient de densité entre les eaux profondes stagnantes (monimolimnion) et les eaux superficielles (mixolimnion). Une importante différence de densité constitue une barrière au processus de mixage intégral de la colonne d'eau.

L'adéquation entre les différentes zones de transition, observées chez l'ensemble des paramètres mesurés, a permis de délimiter les strates thermiques du profil ainsi que les zonations basées sur le brassage des eaux.

Puisqu'un seul relevé des paramètres a été effectué, il est difficile d'affirmer avec certitude que le lac Brûlé ne soit pas sujet au retournement complet de ses eaux au cours d'une année (lac holomictique). Malgré tout, la stratification permanente de la couche profonde semble une hypothèse plausible compte tenu de la conservation des lamines. De plus, les caractéristiques morphologiques du lac et du relief environnant sont favorables au maintien d'une stratification permanente des eaux (Gorham et Boyce, 1989). Le fort gradient de densité entre la couche profonde et les autres couches suggère aussi l'improbabilité du mixage intégral de la colonne d'eau. Ces indices laissent donc présager la méromicticité du lac Brûlé. En se fondant sur les propos avancés par Anderson et *al.* (1985), selon lesquels on peut avancer avec un certain niveau de confiance la nature annuelle de sédiments stratifiés retrouvés dans un lac méromictique, l'allégation que les lamines observées constituent en réalité des varves est vraisemblable.

L'observation des frottis a permis de déceler des différences en terme de composition entre lamines claires et les lamines sombres. Le fait que les couches claires présentent davantage de fragments de plantes vasculaires, de spicules d'éponge, de particules de calcite et de limons que les couches foncées suggère que ces couches aient été déposées en été. Lors de la saison estivale, alors que le lac est libre de glace et que la végétation est à son niveau de productivité de plus élevé de l'année, celui-ci reçoit un apport accru de particules minérales et de fragments de plantes vasculaires par rapport à la saison hivernale. Or, la différence la plus

marquée entre les couches claires et sombres concerne la moyenne des rapports des diatomées centriques sur les diatomées pennées :  $1,86 \pm 0,43$  pour les couches claires et  $0,99 \pm 0,27$  pour les couches sombres. Cette constatation suggère qu'il existe une succession des diatomées (centriques/pennées) au cours d'une année suivant le cycle des saisons. La composition des lamines du lac Brûlé correspond au modèle de formation des varves organiques carbonées décrit par Zolitschka (2007). Selon ce modèle, la couche claire (printemps-été) présenterait davantage de cristaux de calcite et de diatomées centriques alors que la couche sombre (automne-hiver), comporterait plus de diatomées pennées et de débris organiques et minérogènes. Les différences de composition observées entre les couches claires et sombres suggèrent donc que la déposition des lamines suit un rythme saisonnier. En ce qui concerne les lamines distinctives, leur formation résulterait d'une accumulation subite des diatomées pennées. Néanmoins, la cause ayant provoquée cette accumulation demeure indéterminée.

Par ailleurs, deux datations au radiocarbone sont venues valider le caractère annuel des lamines. Les intervalles de probabilités, dérivés des deux datations obtenues, croisent la courbe basée sur le comptage des lamines de l'âge en fonction de la profondeur. Le peu d'informations dont disposait le logiciel *Bacon Age-modeling* explique pourquoi les deux courbes (celle de *Bacon*, basée sur les deux datations, et celle résultant du comptage) ne se superposent pas davantage. Les variations observées sur les carottes par rapport au taux de sédimentation, illustrées par la courbe issue du comptage des lamines, n'ont pas pu être inférées à partir des datations au  $^{14}\text{C}$ . De plus, la concordance temporelle entre l'établissement des premiers colons dans la région et la montée d'*Ambrosia* dans le profil pollinique a permis d'éprouver la chronologie. La montée d'*Ambrosia* est liée à la déforestation par les premiers colons venus d'Europe ; les activités de déforestation des terres ont connu leur apogée il y a 150 ans (Muller et Richard, 2001). Elles ont considérablement modifié le paysage. Bien que la région de l'Outaouais ait été colonisée au début des années 1800, les premières colonies à Mulgrave-et-Derry ont vu le jour une cinquantaine d'années plus tard. Ceci qui expliquerait pourquoi la montée d'*Ambrosia* se produit vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et non au début.

Suite aux diverses analyses effectuées sur les sédiments, il est fondé d'affirmer que la stratification sédimentaire réponde à un rythme de déposition annuel et que les lamines constituent en fait des varves.

### **2.4.2 Histoire de la végétation et du climat**

Les différents changements observés dans les assemblages polliniques du lac Brûlé au cours des derniers 1400 ans ont permis de diviser le diagramme en trois zones majeures. Ces zones correspondent aux différents régimes climatiques qui ont eu lieu au cours de l'Holocène tardif et identifiés lors d'études précédentes, soit l'Optimum climatique médiéval et le Petit Âge glaciaire (Meese et *al.*, 1994 ; Bianchi et McCave 1999; Moore et *al.*, 2001 ; Cronin et *al.*, 2003 ; Mayewski et *al.*, 2004 ; Pederson et *al.*, 2005). Les variations dans les assemblages polliniques témoignent des effets des changements climatiques et de l'arrivée des Européens sur la mosaïque paysagère de l'Outaouais. Dans le diagramme pollinique du lac Brûlé, la zone A (615-1375 AD) correspond à l'Optimum climatique médiéval. La zone B (1375-1860 AD) témoigne d'un refroidissement des températures qui culmine peu avant 1700 AD. Cette période correspond au Petit Âge glaciaire. L'arrivée des Européens correspond à la période C (1860 AD-aujourd'hui).

Les présentes analyses polliniques ont démontré qu'au cours de l'Holocène supérieur, la végétation en Outaouais a été dominée principalement par des taxons arboréens tels que *Pinus*, *Picea*, *Tsuga*, *Acer*, *Betula* et *Fagus*. Ce sont des espèces typiques de la forêt feuillue tempérée (Ministère des ressources naturelles, faunes et parcs du Québec, 2013). Entre 615 et 1375 AD (zone A), *Tsuga*, *Acer* et *Fagus* affichent des pourcentages élevés. La forte présence de ces espèces dans le paysage révèle des conditions climatiques relativement chaudes et humides. La reconstitution climatique, élaborée à partir des grains de pollen fossiles, démontre d'ailleurs cette tendance. Ces résultats concordent avec ceux des autres études paléoclimatiques menées dans la région du lac Brûlé et ailleurs en Amérique du Nord (Moore et *al.*, 2001 ; Cronin et *al.*, 2003 ; Paquette et Gajewski, 2013).

Une transition s'opère dans le diagramme pollinique vers 1375 AD. Un abaissement important des pourcentages de *Tsuga*, *Acer* et *Fagus* est suivi d'une augmentation marquée des pourcentages des conifères sempervirents (*Pinus* et *Picea*), des arbustes (*Alnus*, *Salix* et autres arbustes) et des spores. Différents sites situés entre le Maine et le Minnesota ont démontré un accroissement des pourcentages polliniques des résineux suite à un déclin de ceux de *Tsuga* et de *Fagus*, et ce, en des temps similaires (Gajewski et al., 1987 et Gajewski, 1987). Ces changements abrupts dans les assemblages polliniques sont transposés, dans la reconstitution climatique, par un abaissement des températures. Le refroidissement évoqué dans la reconstitution annoncerait le début du Petit Âge glaciaire (zone B). Le fait que des changements considérables s'opèrent dans le diagramme pollinique et que la reconstitution climatique affiche une baisse des températures à partir de 1375 AD suggère une réponse rapide de la végétation suite à une dégradation des conditions climatiques. Or, l'augmentation drastique des flux de charbons, vers la fin de la zone A, suggère que ces changements soient plutôt en réponse à un incendie forestier qui se serait produit dans la région vers 1375 AD. L'augmentation subséquente des pourcentages d'espèces pionnières à bois tendres (*Betula*, *Alnus* et *Salix*) et des spores vient d'ailleurs confirmer l'hypothèse d'une succession après un feu. La forte augmentation de l'influx pollinique de ces espèces (B1) est liée au fait qu'elles consacrent beaucoup d'énergie à la reproduction, menant ainsi à une forte abondance des semences dans l'environnement. L'accroissement des taxons boréaux, après 1375, a été exprimé par un refroidissement dans la reconstitution climatique. Or, la montée de *Pinus* semblerait plutôt être associée au processus de succession écologique qui s'est enclenché suite au feu. Néanmoins, il est impossible d'écarter complètement la cause climatique pour expliquer l'accroissement des taxons boréaux. Une dégradation du climat qui serait survenue au cours de la période subséquente à l'incendie pourrait avoir amplifié ou accentué certaines variations déjà amorcées par la succession écologique. Il est toutefois impossible de discerner de manière claire la contribution respective des facteurs climatiques et stochastiques aux variations dans les spectres polliniques. Ces constatations soulignent le fait que la reconstitution du climat du lac Brûlé ait été affectée par un événement local et ne traduit pas uniquement les tendances

climatiques régionales. Il est sans équivoque que les changements observés dans les assemblages polliniques vers la fin de la zone A reflètent une perturbation du milieu forestier suite à un incendie. Par contre, la contribution climatique aux variations polliniques est moins claire, voire indétectable. Des indices de l'enclenchement d'un refroidissement entre 1375 et 1600 AD pourraient être masqués par les évidences associées au processus de succession.

L'hypothèse d'un feu expliquerait par ailleurs l'augmentation subite de l'épaisseur des varves dans le lac Brûlé. En effet, la disparition d'une partie du couvert végétal dans la région aurait occasionné un transport accru des particules du sol vers le lac et, par le fait même, une plus forte contribution des fractions minérales aux processus de sédimentation. Suite à un feu, les processus d'érosion agissent de manière effective jusqu'à ce que la forêt se régénère suffisamment pour stabiliser le sol (Green, 1983 ; Jones et *al.*, 1984). Ce phénomène est reflété par la diminution des pourcentages des matières organiques et par l'augmentation des matières carbonatées dans les sédiments suite au sinistre. Une augmentation de l'influx des charbons s'observe aussi dans le diagramme provenant du lac Noir à la même période, quoique ce pic soit beaucoup moins prononcé (Paquette et Gajewski, 2013). La différence d'amplitude entre les pics des charbons des deux diagrammes porte à croire que le feu se serait produit plus à proximité du lac Brûlé que du lac Noir et que la propagation de celui-ci aurait été relativement limitée. Green (1983) mentionne d'ailleurs qu'une augmentation de l'érosion (traduite par l'augmentation du taux des matières inorganiques dans les sédiments ou de l'épaisseur des varves) qui se produit suite à un pic des charbons suggère qu'un feu s'est produit non loin du lac, soit à l'intérieur des limites du bassin hydrologique.

La diminution de l'influx pollinique total entre 1600 et 1700 AD traduit un ralentissement de la production pollinique. Ce ralentissement, résultant d'une diminution de la production du milieu forestier (Hicks, 1999), se produit au moment où on observe un refroidissement climatique. On remarque que les taxons boréaux (*Pinus* et *Picea*) maintiennent un taux d'accumulation relativement constant alors que les taxons sensibles à des conditions climatiques plus froides ou sèches (*Thuja/Juniperus*, *Acer*, *Ostrya/Carpinus*, *Fagus*, *Quercus*,

spores) présentent une diminution de leur taux d'accumulation. L'abaissement des températures sous un certain seuil a entraîné une réponse rapide de la végétation. La chute de l'influx pollinique total, qui transparaît de manière évidente dans l'assemblage pollinique du lac Brûlé entre 1600 et 1700 AD (zone B3), indique la capacité d'enregistrement des variations climatiques de courte durée ( $\leq$  au temps de régénération d'un milieu forestier pour atteindre son climax) par le diagramme pollinique. Suite à la période de refroidissement maximal (B3), un léger adoucissement du climat a provoqué le retour des valeurs de l'influx pollinique à leur niveau antérieur (zone B4).

L'arrivée des Européens dans la région de l'Outaouais a considérablement modifié les assemblages polliniques. Le défrichement des terres pour y pratiquer l'agriculture a mené à l'augmentation des taxons non-arboréens (*Ambrosia*, *Gramineae*, *Chenopodiaceae* et les autres non-arboréens) et des arbustes (p.ex., *Alnus*, *Myrica* et *Salix*) entre 1860 et aujourd'hui. Le fait que davantage de particules de charbons aient été observées dans les sédiments au cours de cette période résulte de la pratique ancienne de déboisement par le brûlage du couvert végétal. La diminution de *Pinus* haploxyton, observée au cours de cette période (zone C), est la conséquence de la coupe forestière, et plus particulièrement de la coupe des pins blancs, par les Européens.

### **2.4.3 Comparaison avec le lac Noir**

La comparaison avec le diagramme pollinique issu du lac Noir (Paquette et Gajewski, 2013), situé dans la municipalité de Ripon, à 25 km à l'est du lac Brûlé, a permis de faire ressortir des nuances subtiles dans les assemblages polliniques et ainsi préciser la chronologie des événements climatiques dans la région.

De manière générale, les assemblages polliniques des lacs Noir et Brûlé présentent des tendances similaires. La portion inférieure des deux diagrammes est dominée par *Tsuga*, *Fagus* et *Acer*. Le déclin de ces espèces, vers 1600 AD, est accompagné d'une augmentation des taxons

boréaux (*Pinus*, *Picea* et *Abies*). Vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle s'amorce un accroissement fulgurant d'*Ambrosia* et d'autres herbacées. Les variations analogues entre les deux diagrammes permettent de corrélérer les profils entre eux. Néanmoins, on observe un décalage d'environ 40 années entre les moments où se produisent les différentes transitions enregistrées par l'ensemble des taxons. Puisqu'une courte distance sépare les deux lacs, il est raisonnable de supposer que le climat ait été le même pour les deux sites. Les différentes variations dans les spectres polliniques se produisent systématiquement plus tôt dans la séquence du lac Noir. Ce décalage s'observe pour les spectres de l'ensemble des taxons étudiés, des charbons et des résultats des analyses des composantes principales menées sur les grains de pollen fossiles. Certaines similitudes sont particulièrement évidentes entre les deux diagrammes, notamment la chute de *Fagus* suivie de l'augmentation d'*Alnus* vers 1600 AD, la montée d'*Ambrosia* vers 1850 AD et l'accroissement des pourcentages de *Pinus* autour de 1400 AD (Figure 16). La ressemblance étroite entre les assemblages suppose donc qu'il y ait un déphasage entre les deux chronologies.

Dans le profil pollinique du lac Noir, la montée d'*Ambrosia*, qui se produit vers 1800 AD, semble légèrement hâtive compte tenu de nos connaissances historiques par rapport à l'établissement des premiers colons dans la région (Biehler, 1990; L'écho des montagnes, 2011). Il apparaît plus vraisemblable d'observer un accroissement de l'ambrosie vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, soit au moment où le développement des communautés s'est accentué. Conséquemment, nous considérons qu'il serait raisonnable de retrancher 40 années de la chronologie du lac Noir afin d'aligner les deux profils polliniques. Compte tenu des difficultés éprouvées lors de la datation des sédiments provenant de la partie supérieure de la carotte du lac Noir, tel que mentionné par Paquette et Gajewski (2013), la chronologie retenue est donc celle du lac Brûlé.

De façon générale, les changements de végétation observés dans les lacs Noir et Brûlé se produisent de manière synchrone. Une dissemblance existe cependant entre les deux diagrammes; près de 200 ans séparent le moment où l'on observe la chute de *Tsuga* entre les

deux sites. La chute hâtive de la pruche au lac Brûlé, vers 1375 AD, est expliquée par un incendie qui s'est produit à proximité du site. Dans le diagramme pollinique du lac Noir, on perçoit aussi des indices qu'il s'est produit un feu au niveau régional. Pour la période comprise entre 1375 et 1600 AD, on observe par exemple une première diminution de *Fagus* et *Acer* et une augmentation légère d'*Alnus* et de *Pinus*. Au lac Brûlé, le fait que *Tsuga* ne retrouve pas le niveau d'abondance qu'il possédait avant l'incendie concorde avec la tendance qui a été observée lors d'études précédentes menées dans les régions des Grands Lacs et des Adirondacks (Mladenoff et Stearn, 1993 ; Ziegler, 2000 ; Murray et al., 2012). Ziegler (2002) a observé que, suite à un incendie, les forêts dominées par la pruche ne retrouvent généralement pas leur composition originelle. Malgré le fait que la pruche constituait l'espèce dominante avant l'événement perturbateur, les forêts secondaires sont généralement dominées par d'autres espèces telles que l'érable rouge. Ces observations révèlent les difficultés liées au processus de régénération de *Tsuga* suite à un feu. Ces études ont avancé que les premiers stades de croissance de la pruche ont une importance critique pour assurer sa régénération. En raison de son système racinaire peu profond, la pruche est sensible aux conditions sèches. Sa régénération dépendrait donc de conditions climatiques favorables lors des premières décennies suivant une perturbation telle qu'un feu (Mladenoff et Stearn, 1993). Ainsi, en raison de la multitude de facteurs qui interagissent de manière complexe lors du processus de succession secondaire, il est difficile d'identifier avec certitude les facteurs qui ont causé la faible régénération de *Tsuga* au lac Brûlé après le feu de 1375 AD. Puisque la pruche est une espèce à croissance lente qui apparaît lors des derniers stades de la succession, il est possible que le développement de *Tsuga* ait concordé avec le début du refroidissement associé au Petit-Âge glaciaire. Une dégradation climatique a pu affecter durablement sa régénération. Ainsi, les caractéristiques écologiques de *Tsuga* pourraient expliquer la tendance qui a été observée dans le diagramme pollinique.

*Pinus* est une espèce typique des milieux où s'opère une succession écologique secondaire. L'augmentation de *Pinus*, attribué principalement à l'incendie, a engendré une

augmentation de la pluie pollinique de cette espèce au niveau régional. Ce phénomène expliquerait d'ailleurs l'augmentation de *Pinus* dans le diagramme du lac Noir à partir de 1450 AD. Les spectres polliniques du lac Noir auraient donc été partiellement affectés par l'incendie forestier du lac Brûlé et reflèteraient ainsi une dynamique régionale. Quant à la chute de *Tsuga* au lac Noir, vers 1600 AD, elle serait en lien avec une dégradation des conditions climatiques, associée au Petit-Âge glaciaire. Deux raisons principales justifient que la cause climatique ait été retenue pour expliquer les changements observés vers 1600 AD. Tout d'abord, il n'existe aucune évidence associée à un feu au cours de cette période. Ensuite, d'autres taxons sensibles au refroidissement connaissent aussi une diminution importante au même moment.

Le diagramme du lac Noir, de même que celui du lac Brûlé, affichent une baisse notable de l'influx pollinique total entre 1600 et 1700 AD. La rapidité et la netteté avec laquelle les taxons sensibles au refroidissement chutent suggèrent l'existence d'un effet de seuil. Lors du refroidissement du Petit-Âge glaciaire, la végétation a franchi un seuil au-delà duquel la production pollinique et la composition du milieu forestier ont été affectées. Cette observation démontre non seulement la capacité de réponse de la végétation suite à une dégradation du climat sur une période d'à peine cent ans, mais aussi la capacité d'enregistrement de ces variations de courte durée par le diagramme pollinique.

La période comprise entre 1375 et 1600 AD démontre des différences importantes en ce qui concerne les reconstitutions des précipitations pour les diagrammes des deux lacs. Ces différences sont liées au fait que les assemblages polliniques du lac Brûlé aient été affectés par un événement stochastique local, soit un incendie. Lors de l'élaboration de reconstitution climatique basée sur des grains de pollen fossiles, on considère que la végétation est en équilibre avec le climat. Cette prémisse peut toutefois mener à une interprétation erronée si des perturbations locales viennent affecter significativement les assemblages polliniques. Ces perturbations peuvent être faussement interprétées comme étant des variations climatiques si un seul diagramme est considéré. Ceci met en relief la nécessité d'utiliser plusieurs diagrammes polliniques d'une même région afin de produire une reconstitution climatique fiable. Quoique

les perturbations locales puissent affecter de manière considérable les reconstitutions à haute résolution temporelle, elles n'affectent cependant pas celles qui sont élaborées à grande échelle. La comparaison de divers diagrammes permet d'extirper les variations attribuables aux événements locaux afin d'en dégager la tendance climatique régionale.

La comparaison avec le diagramme du lac Noir a permis de mieux comprendre les changements qui se sont opérés entre 1375 et 1860 AD et ainsi discerner plus clairement les variations liées à des événements stochastiques locaux des tendances climatiques régionales. L'analyse des ressemblances et des dissemblances entre les deux diagrammes a aussi permis de mieux comprendre la dynamique entre le climat et la végétation au cours de cette période et de mettre en relief l'existence d'un effet de seuil qui a entraîné une réponse rapide de la végétation.

Stations		Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Angers	Moyenne quotidienne	-12,1	-10,2	-3,8	4,8	12,3	17,1	19,6	18,4	13,2	6,9	0,2	-8,1	4,9
	Précipitations	80,6	61,4	77,8	71,1	86,9	98,6	94,6	94,8	93,2	89,7	85,6	87,8	1022,0
	Chutes de pluie	25,0	18,6	45,1	63,2	86,2	98,6	94,6	94,8	93,2	88,0	69,3	26,0	802,7
	Chutes de neige	55,6	42,8	32,7	7,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	16,4	61,8	218,7
Montebello	Moyenne quotidienne	-11,5	-9,6	-3,2	4,9	12,1	16,5	19,4	18,0	12,9	6,5	0,1	-7,8	4,9
	Précipitations	98,2	75,1	80,9	86,3	98,8	100,2	105,7	107,6	113,7	101,8	105,1	103,1	1176,3
	Chutes de pluie	32,9	24,2	45,5	77,9	98,5	100,2	105,7	107,6	113,7	100,3	82,8	37,1	926,3
	Chutes de neige	65,3	50,9	35,4	8,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	22,3	66,0	250,1
Ottawa	Moyenne quotidienne	-10,5	-8,6	-2,4	6,0	13,6	18,4	21,0	19,7	14,7	8,2	1,5	-6,6	6,3
	Précipitations	64,2	51,6	64,9	67,7	81,0	91,2	88,9	87,6	86,8	79,1	77,0	74,1	914,2
	Chutes de pluie	22,9	16,1	33,6	59,7	80,9	91,2	88,9	87,6	86,8	76,2	60,5	28,8	733,2
	Chutes de neige	48,7	41,2	32,1	7,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	18,0	52,2	202,7
Chénéville	Moyenne quotidienne	-12,9	-11,0	-4,6	3,8	11,1	16,0	18,6	17,3	12,1	6,0	-0,7	-8,8	3,9
	Précipitations	83,4	73,1	82,0	78,5	87,6	100,3	102,7	108,6	99,0	102,0	98,6	89,4	1105,3
	Chutes de pluie	25,7	23,0	46,2	70,7	87,1	100,3	102,7	108,6	98,9	99,9	75,1	27,5	865,8
	Chutes de neige	57,7	50,1	35,8	7,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	2,1	23,5	61,9	239,5

**Tableau 1.** Normales climatiques de 1971 à 2000 pour quatre stations météorologiques situées en Outaouais. Les données sont exprimées en °C pour les températures moyennes quotidiennes, en mm pour les précipitations et les chutes de pluie et en cm pour les chutes de neige. Les données proviennent du site d'environnement Canada ([http://climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/](http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/)).

Section	Nombre de couplets de lamines				Intervalle	Moyenne	Écart-type	Erreur-type
	3	4	5	7				
A	40*	117	116	90*	-	-	-	-
B	245	245	245	248	3	246	1,30	0,65
C	33	33	33	33	0	33	0,00	0,00
D	269	267	266	271	5	268	1,92	0,96
E	320	320	322	317	5	320	1,78	0,89
F	177	320	430	280	-	-	-	-
Total	1084	1302	1412	1239	13			

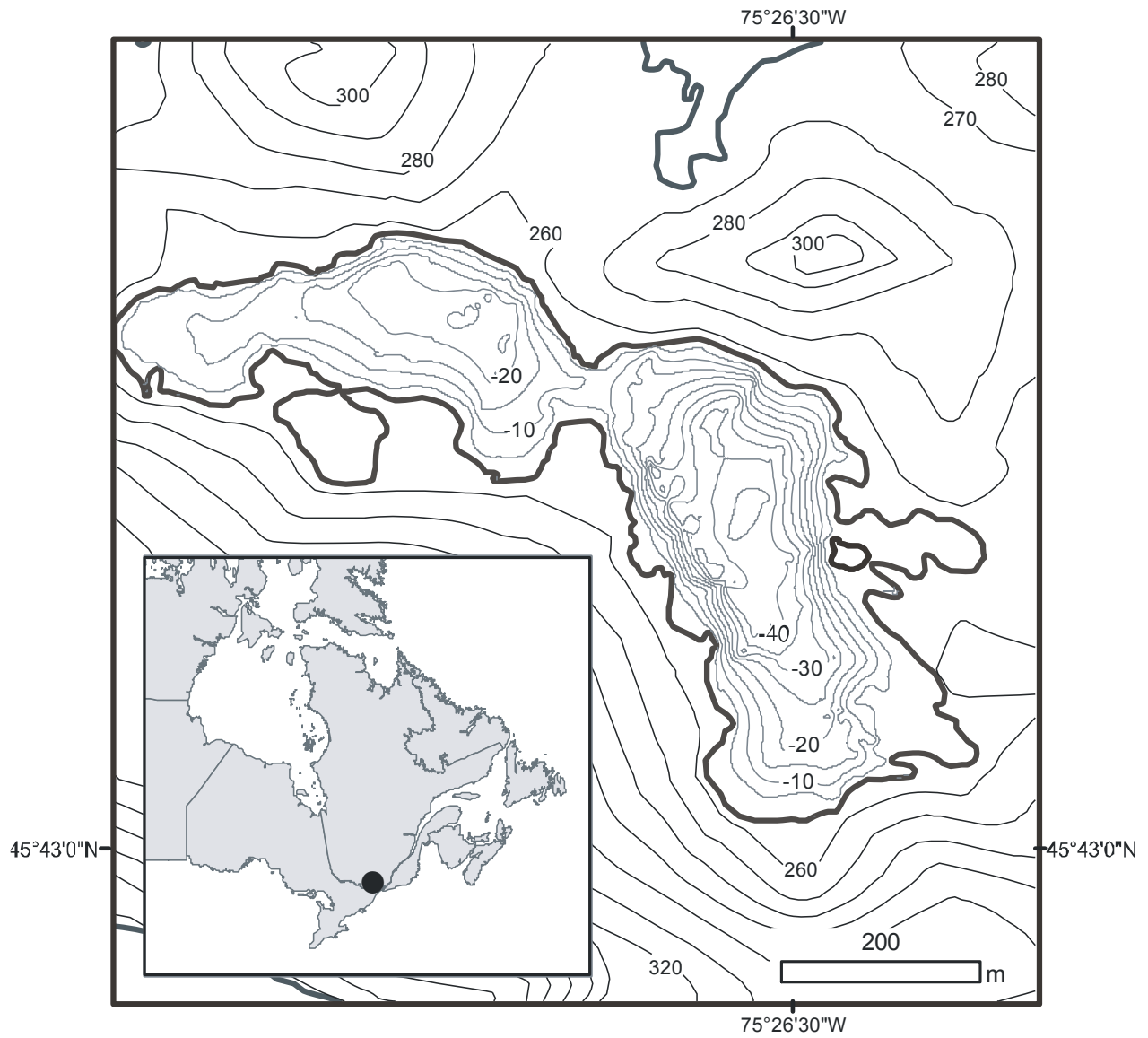
**Tableau 2.** Nombre de couplets de lamines comptés dans les six sections des quatre carottes (Figure 4). Les sections ont été définies à l'aide lamines distinctives (Figure 3). L'étoile\* indique l'absence de l'interface eau-sédiment.

Échantillon	Numéro - laboratoire	Profondeur (cm)	Ratio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Datation conventionnelle radiocarbone	Datation calibrée (probabilité)	Sigma ( $\sigma$ )
<b>LB-11</b>	BETA 334187	81,5-83	-21,0 o/oo	1160 $\pm$ 30 BP	1006-1029 (0,217)	1 $\sigma$
					1052-1094 (0,443)	
					1104-1139 (0,291)	
					1161-1168 (0,049)	
2 $\sigma$	981-1036 (0,274)					
	1047-1172 (0,726)					
<b>LB-12</b>	BETA 347328	67,5-69	-28,9 o/oo	870 $\pm$ 30 BP	732-795 (0,963)	1 $\sigma$
					887-891 (0,037)	
					698-803 (0,757)	2 $\sigma$
					808-831 (0,059)	
					855-905 (0,184)	

**Tableau 3.** Datations conventionnelles au radiocarbone et âges calibrés (CALIB 6.0 ; Stuiver et Reimer, 1993 ; Reimer et *al.*, 2009) pour le lac Brûlé, Québec.

		Composantes biogéniques											Composantes clastiques				Composantes carbonatées			
		Restes silicieux				Matières organiques				Invertébrés			Arthropodes	Texture du sol (%)				%		
Lamine		Diatomées centriques	Diatomées pennées	Spicule d'éponge	Phytolithes	Aquatiques amorphes (%)	Plantes vasculaires (%)	Charbons	Pollen	< 60 um	> 60 um	Ostracodes	Cladocera	Argiles	Limons	Sables	Biotite	Calcite	Vivianite	Aragonite
		Sombre	Moyenne	30.9	28.6	4	2.1	8.0	4.3	4.3	16.2	3.6	2.8	0.3	4.2	1.2	0.5	0	0.2	0.7
Écart type	24.1		17.2	1.8	1.1	3.2	1.7	4.0	8.4	2.6	1.5	3.4	0.4	0.5	0.0	0.5	0.6	0.4	0.7	0.5
Claire	Moyenne	68.7	36.4	6	2.3	9.9	7.5	4.0	15.7	3.1	4.0	1.8	6.5	1.2	0.8	0	0.2	0.8	0.7	0.3
	Écart type	33.5	13.2	3.3	1.7	2.2	5.8	6.3	7.8	2.4	1.8	2.2	0.4	0.4	0.0	0.4	0.5	0.4	1.8	0.5

**Tableau 4.** Compilation des observations des frottis sédimentaires. La moyenne et l'écart type ont été calculés pour l'ensemble des lamines de même couleur. Il est à noter qu'en raison de la faible abondance de certaines composantes, une partie des résultats du tableau sont exprimés en valeur absolue (diatomées, spicules d'éponge, phytolithes, charbons, pollen, fragments d'insectes, cladocères). Les autres composantes, estimées par comparaison avec le diagramme de Terry et Chilingar (1955), sont présentées sous la forme de pourcentages.



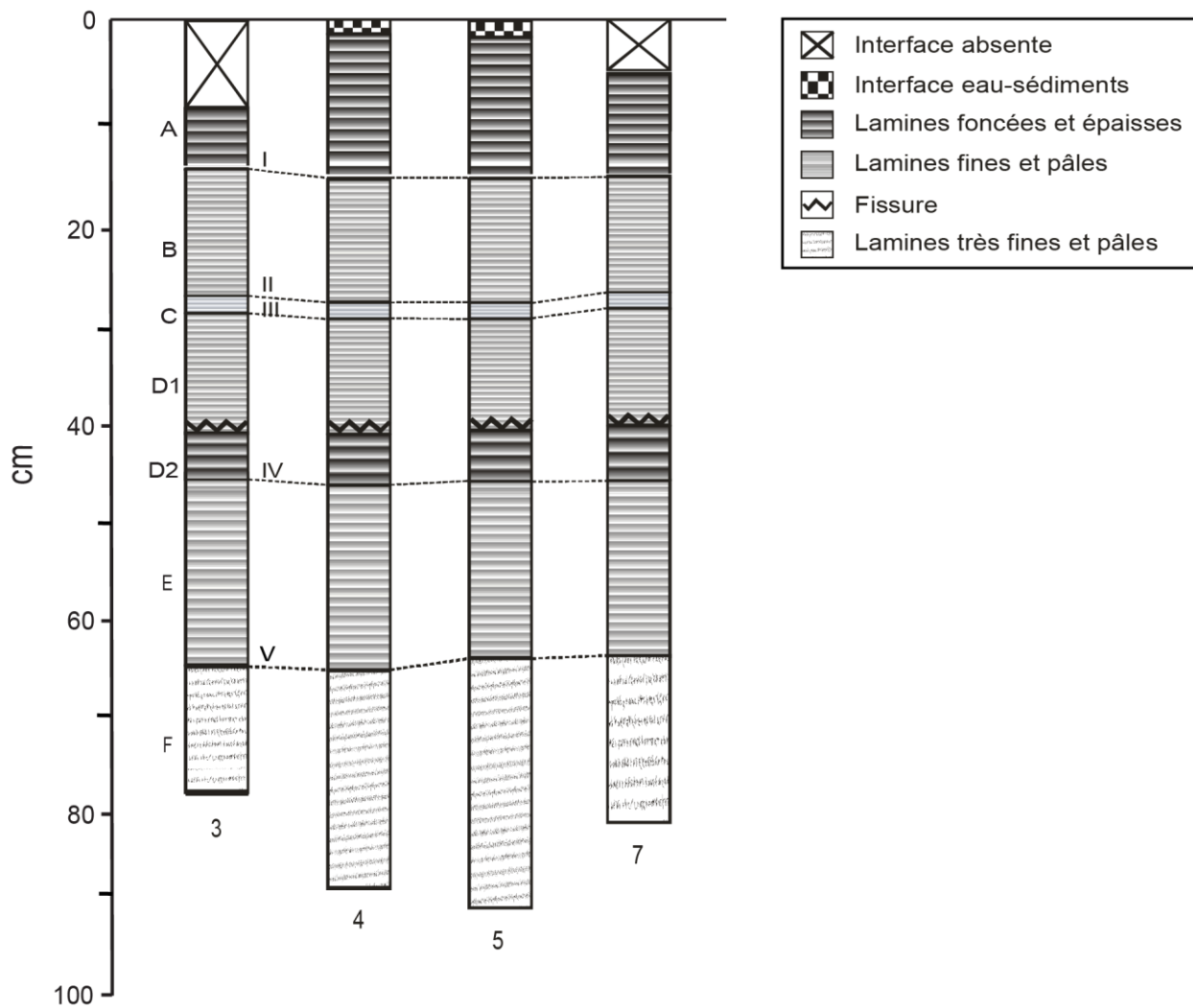
**Figure 1.** Carte de la localisation et relevés bathymétriques du lac Brûlé, Québec.



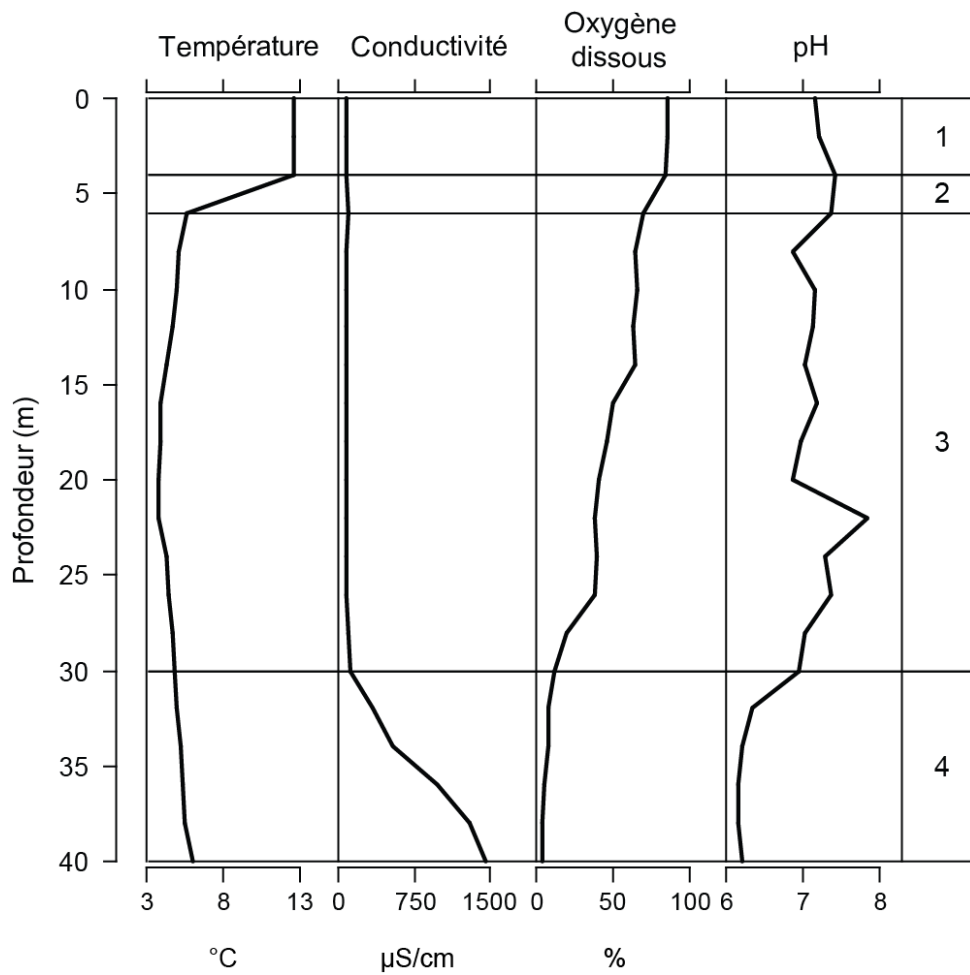
**Figure 2.** Varves autour de 40 cm (1400 AD) dans la carotte #5.



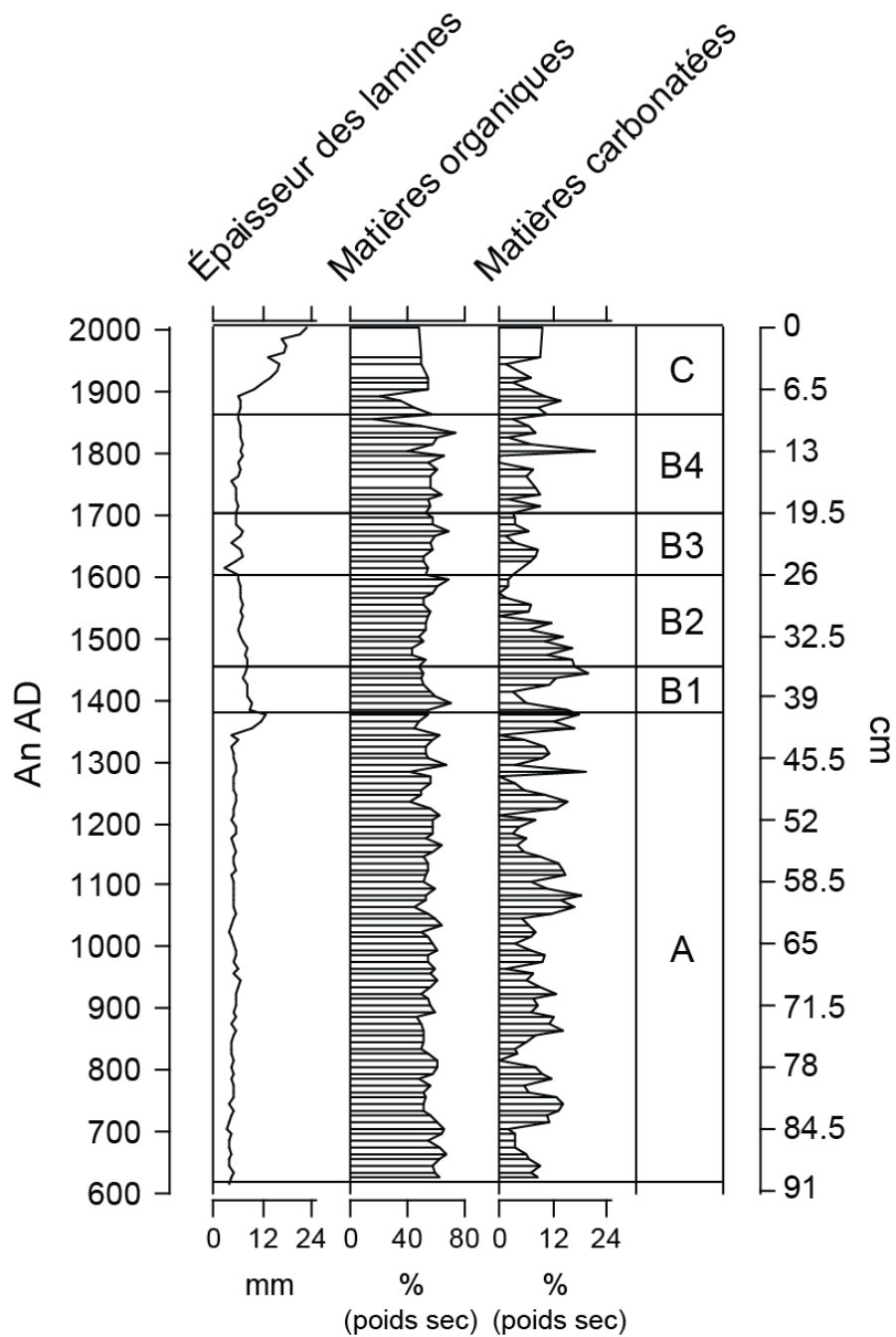
**Figure 3.** Lamines distinctives de la carotte #5 autour de 43 cm. Cette photo illustre la transition abrupte dans l'épaisseur des lamines.



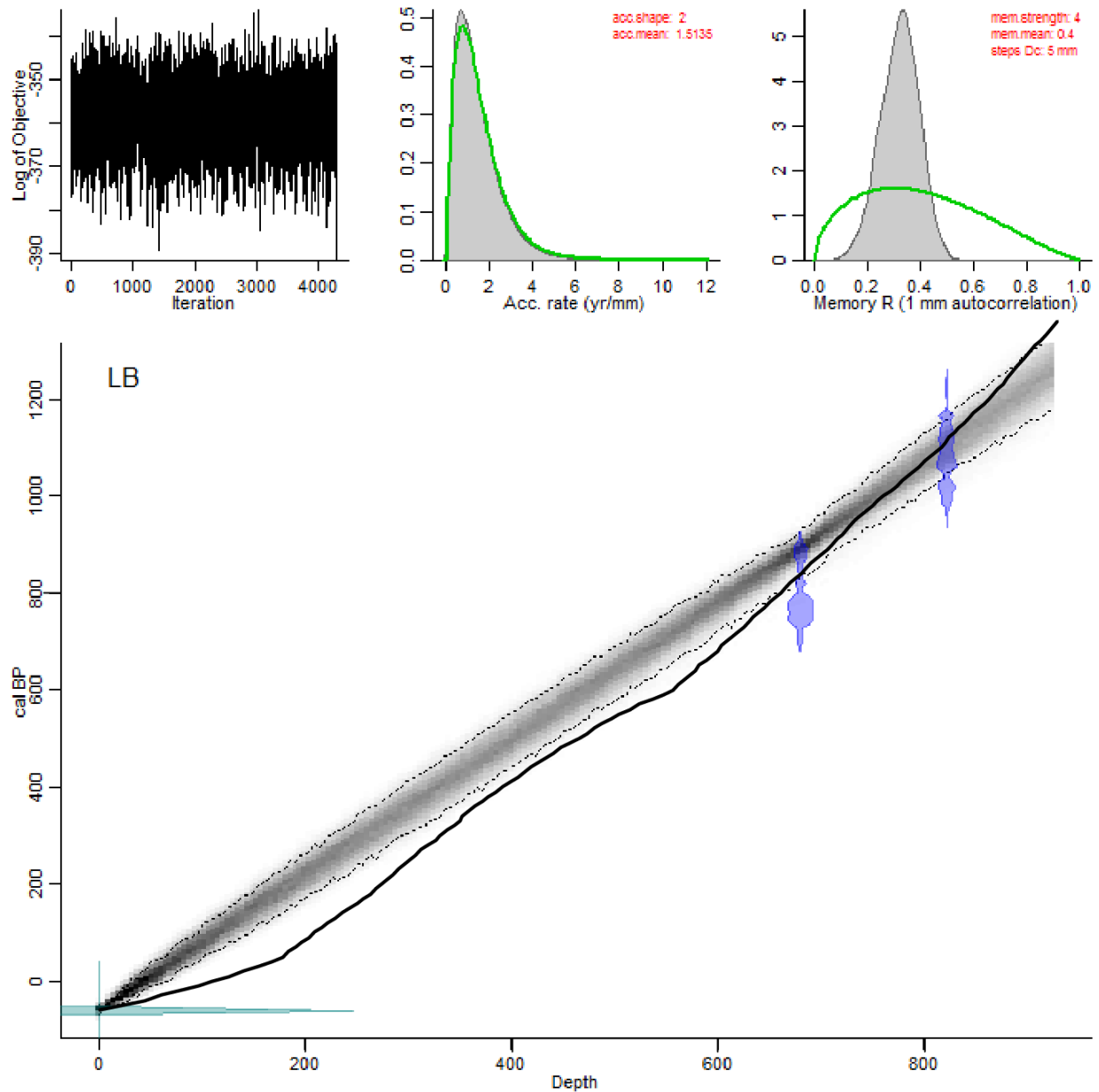
**Figure 4.** Schéma des quatre carottes sédimentaires du lac Brûlé. Les lettres font référence aux différentes sections des carottes alors que les numérotations romaines indiquent les lamines distinctives.



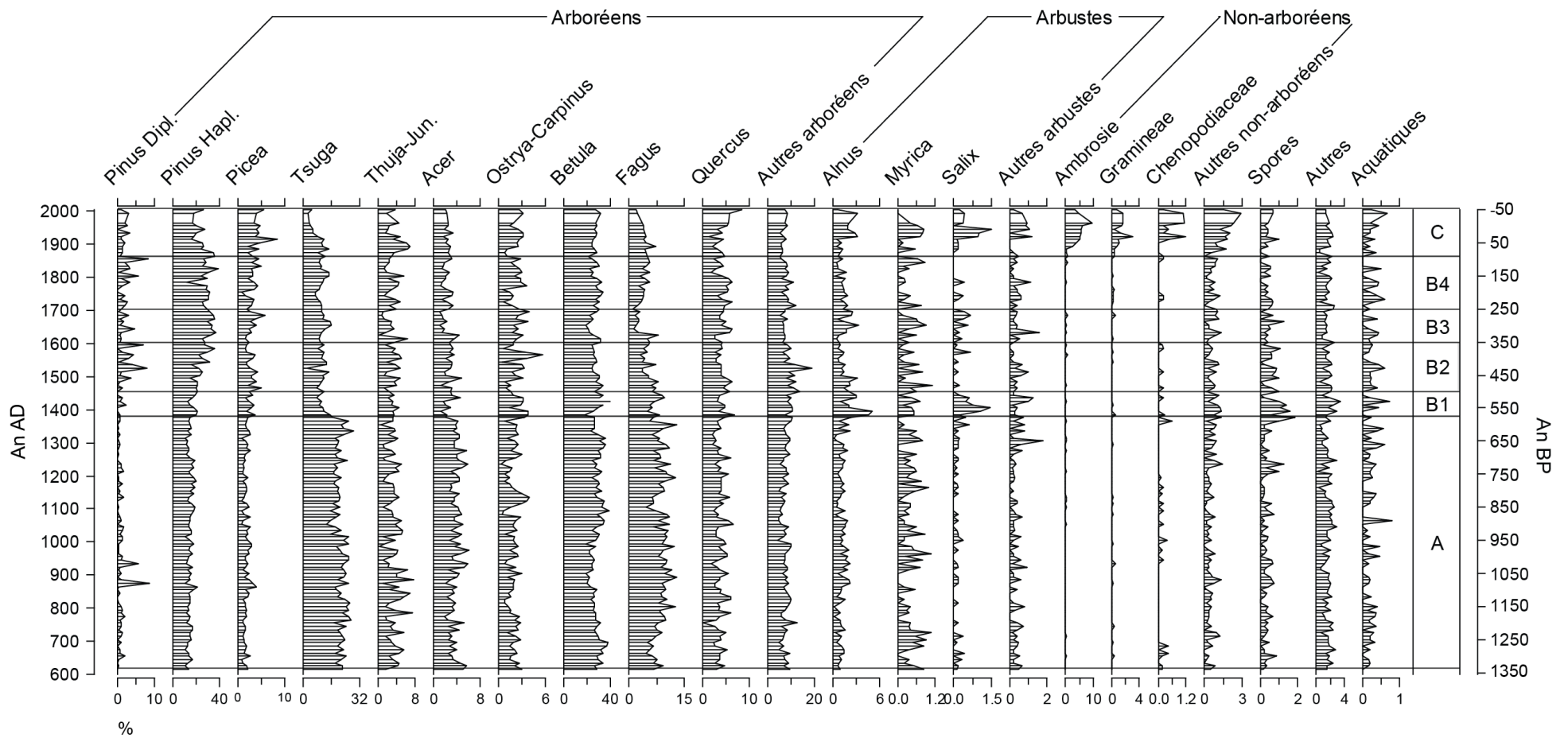
**Figure 5.** Profil physico-chimique du lac Brûlé en date du 1<sup>er</sup> juin 2013. Les zones du profil correspondent aux différentes strates dans les eaux du lac. Zones : 1) épilimnion, 2) thermocline, 3) hypolimnion et 4) monimolimnion.



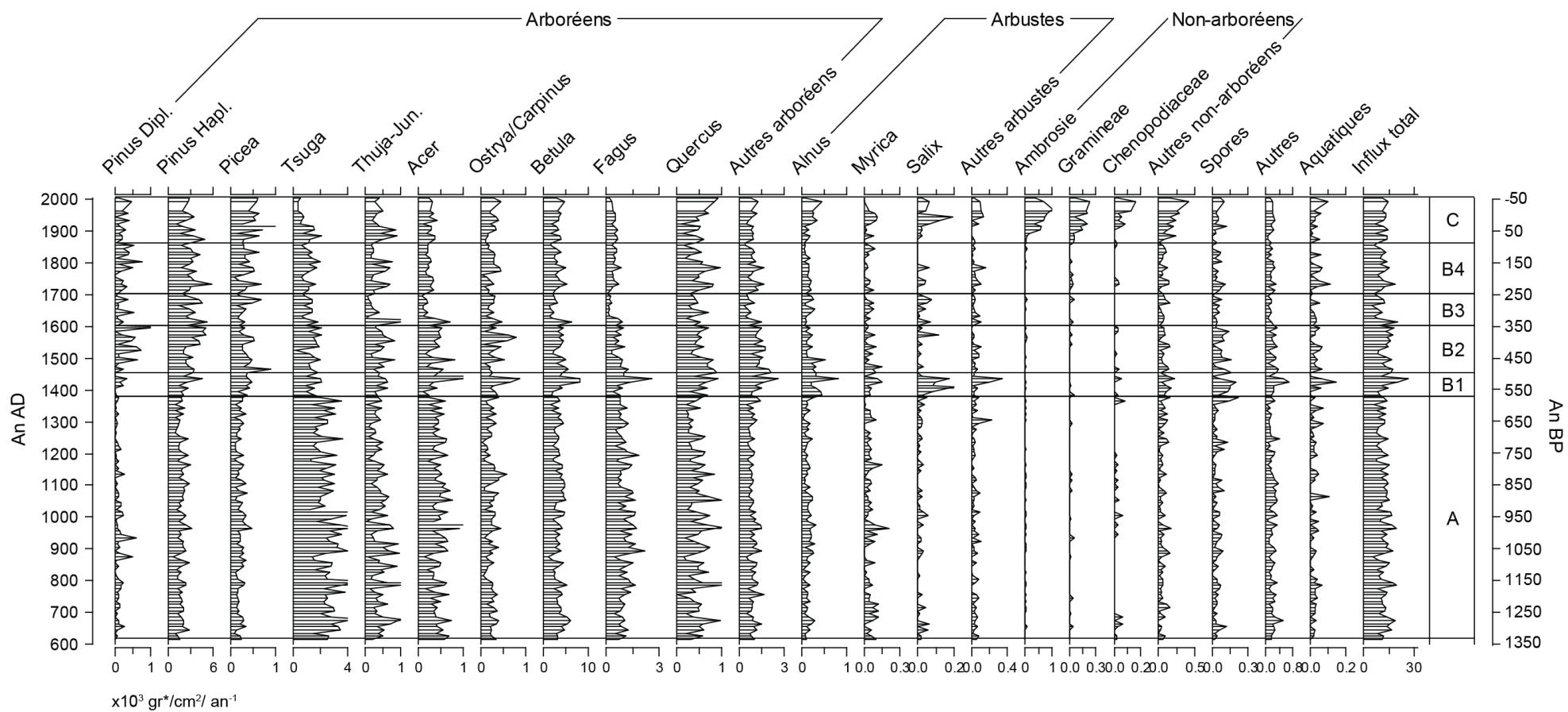
**Figure 6.** Perte au feu et épaisseur des lamines. Les données du contenu en matières organiques (550°C) et du contenu en matières carbonatées (950°C) sont exprimées en pourcentage par rapport au poids sec des sédiments. La division du diagramme est basée sur les zones d'assemblages polliniques.



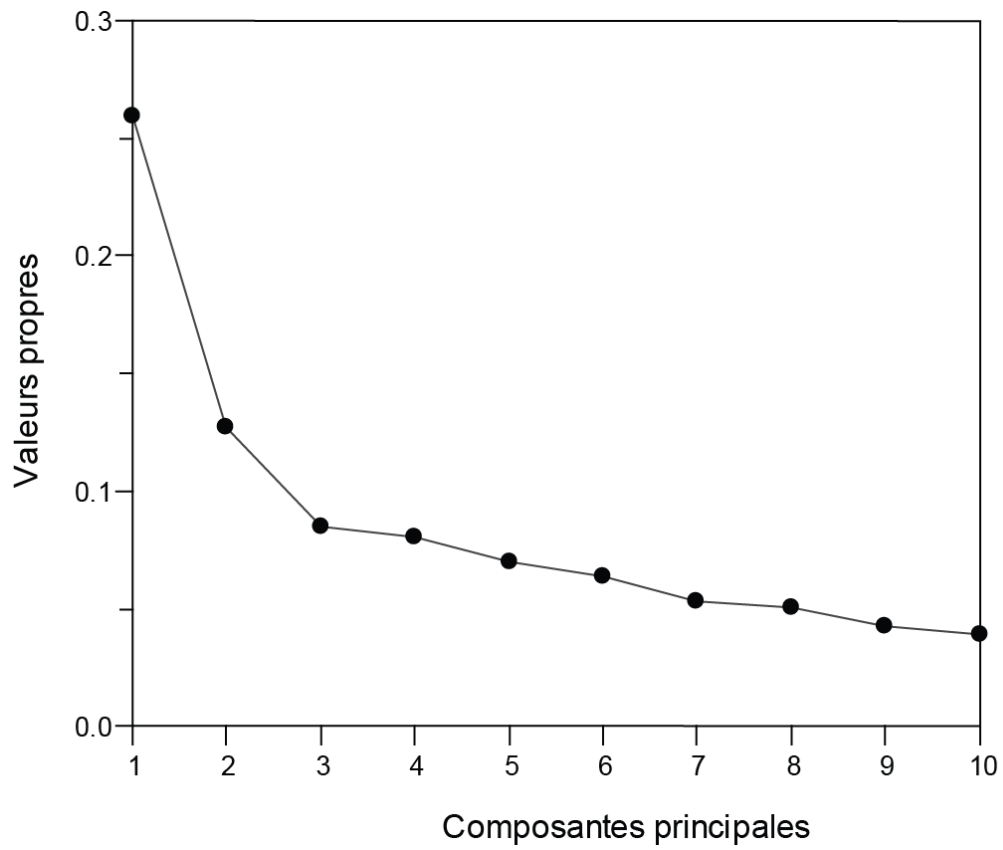
**Figure 7.** La courbe formée d'un trait plein indique la chronologie basée sur le comptage des lamines, soit celle utilisée dans cette étude. Les deux datations au radiocarbone calibrées (CALIB 6.0 ; Stuiver et Reimer, 1993 ; Reimer et *al.*, 2009) apparaissent en mauve. Les formes ondulatoires indiquent les intervalles de confiance des deux datations pour  $1\sigma$  et  $2\sigma$ . La zone grisée est constituée des résultats des analyses des datations  $^{14}\text{C}$  dans le programme Bacon (Blaauw et Christen, 2011).



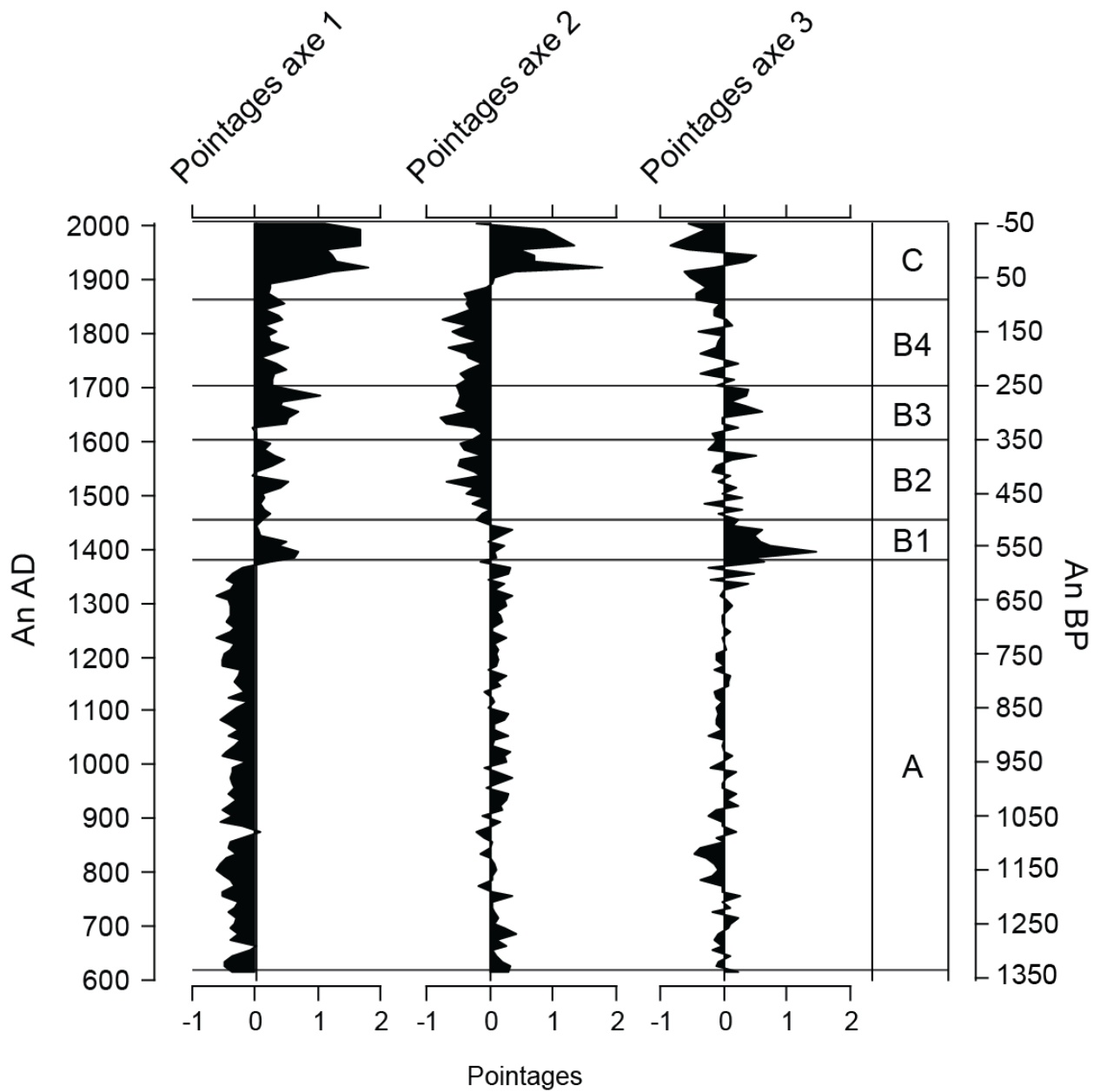
**Figure 8.** Pourcentages polliniques pour le lac Brûlé, Québec. Seulement les principaux taxons sont présentés. Les différentes zones (A, B & C) et sous-zones (B1, B2, B3 & B4) du diagramme ont été établies à partir des résultats des analyses des composantes principales menées sur l'ensemble des données polliniques.



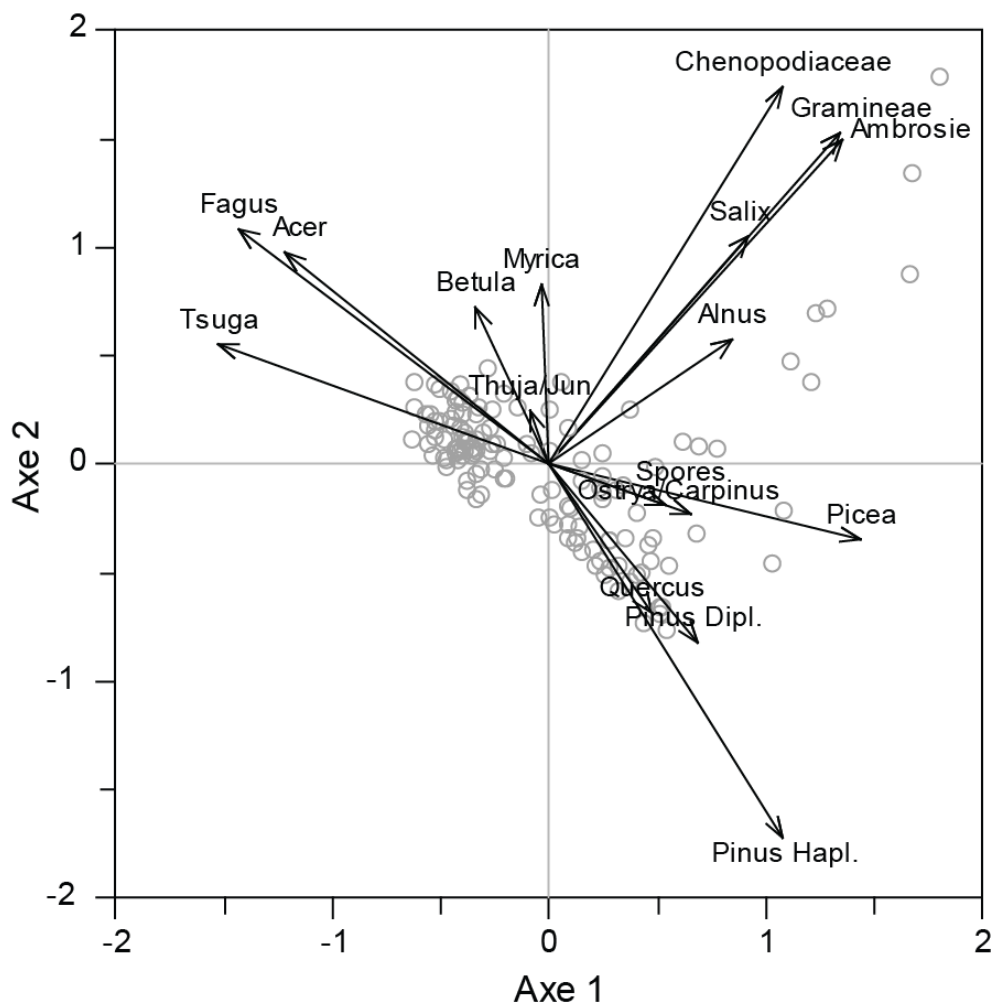
**Figure 9.** Taux d'accumulation pollinique pour le lac Brûlé, Québec. Il est à noter que les échelles varient selon les taxons. L'influx pollinique total n'inclut pas les grains de pollen des aquatiques.



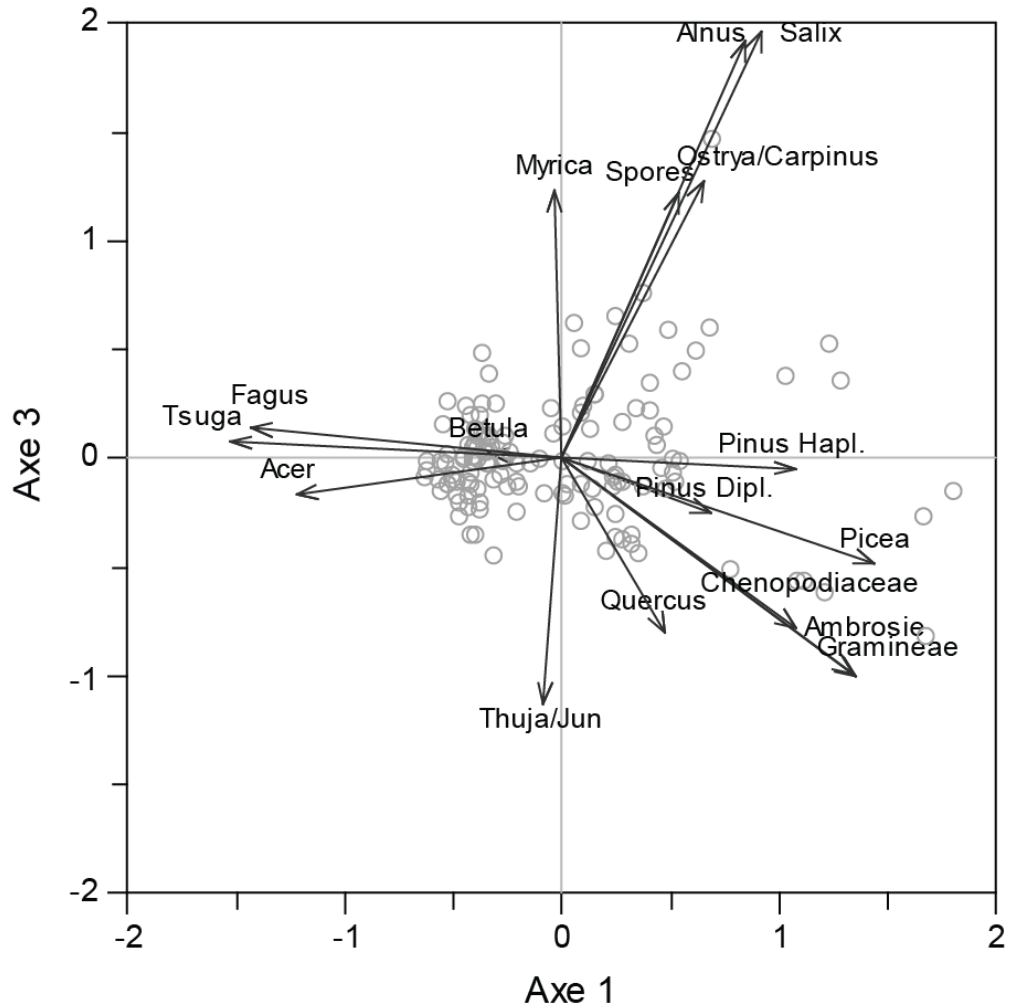
**Figure 10.** Valeurs propres (variance expliquée) pour chacune des dix premières composantes principales.



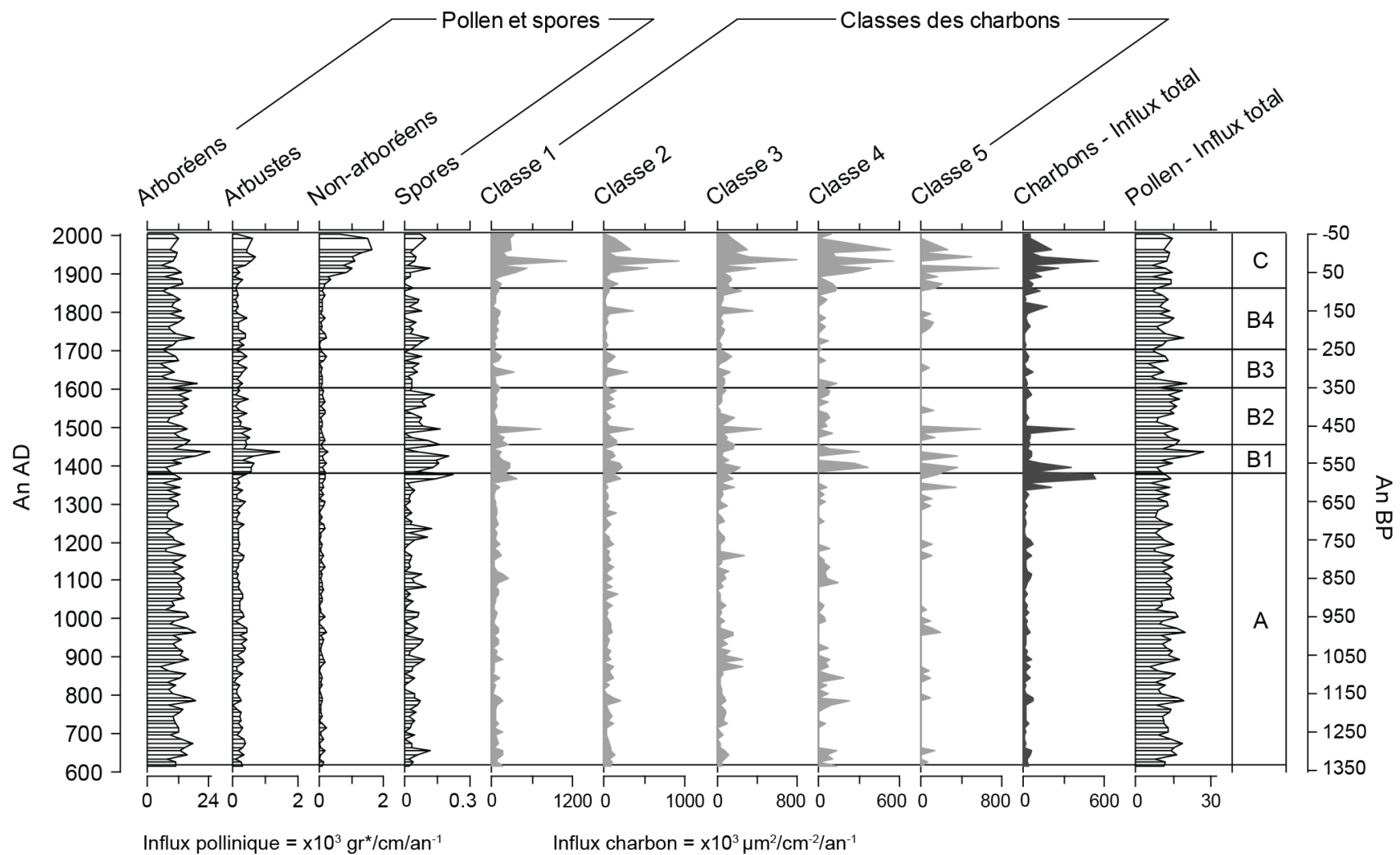
**Figure 11.** Pointages des trois premiers axes issus de l'analyse des composantes principales menée sur les données polliniques du lac Brûlé, Québec. Les résultats sont présentés par rapport à la ligne de référence placée à zéro.



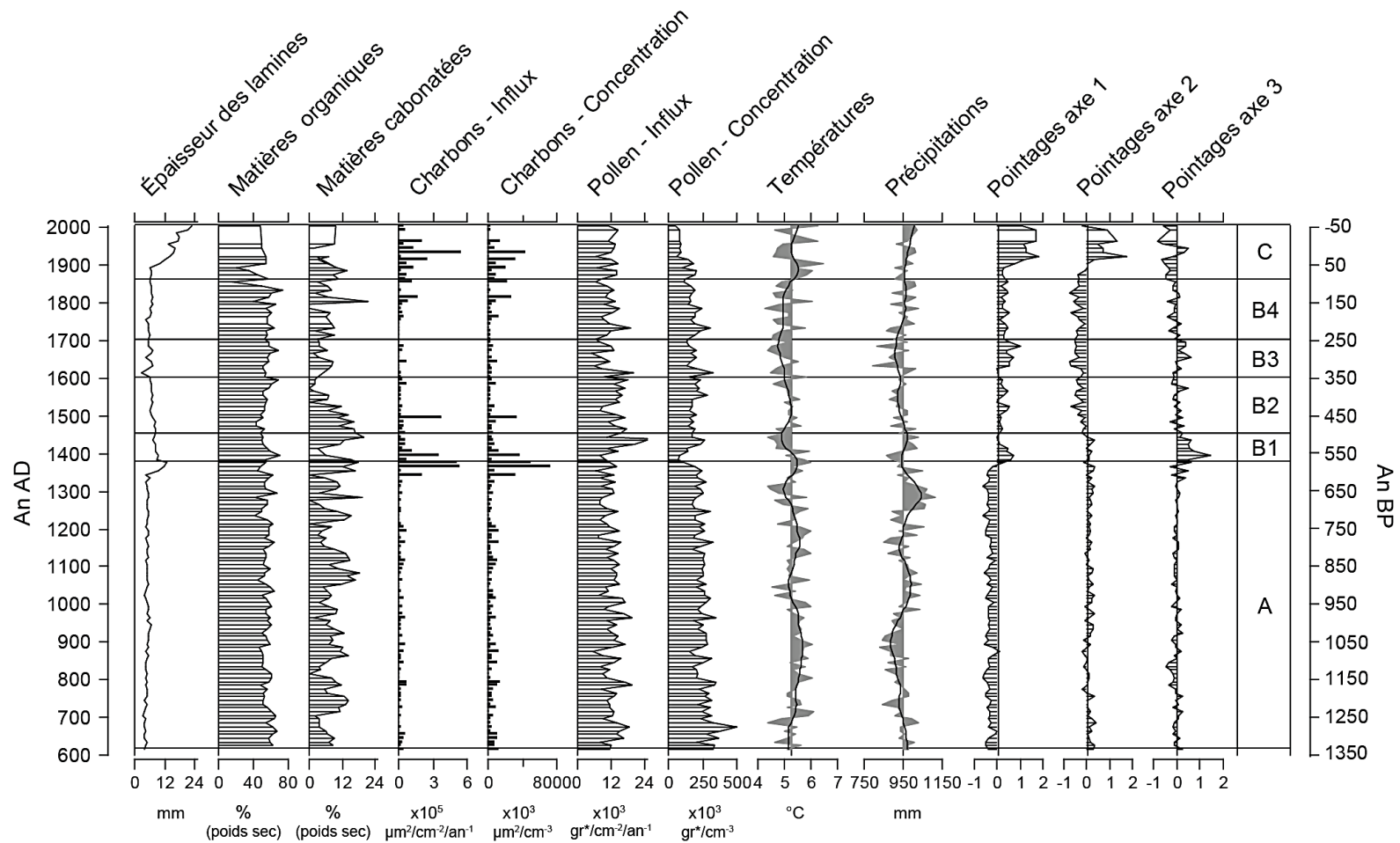
**Figure 12.** Diagramme de double projection (biplot) des données polliniques du lac Brûlé pour les deux premiers axes de l'analyse des composantes principales. Les cercles représentent les données des pointages pour chacun des 138 échantillons par rapport à ces axes.



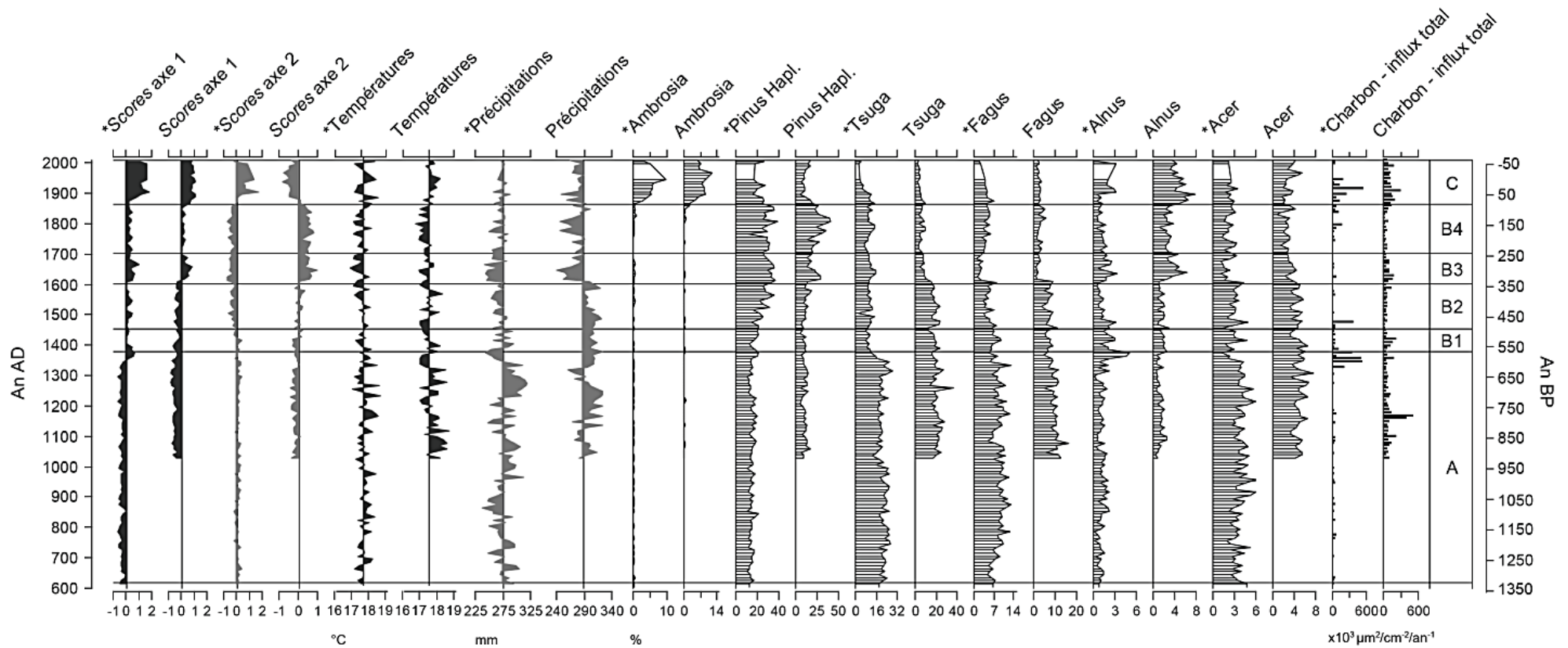
**Figure 13.** Diagramme de double projection (biplot) des données polliniques du lac Brûlé pour le premier et le troisième axe de l'analyse des composantes principales. Les cercles représentent les données des pointages pour chacun des 138 échantillons par rapport à ces axes.



**Figure 14.** Influx des micro-charbons contenus dans les sédiments du lac Brûlé, Québec. Les six classes ont été ainsi définies : **1:**  $218,75 \leq - < 437,5 \mu\text{m}^2$ , **2:**  $437,5 \leq - < 875 \mu\text{m}^2$ , **3:**  $875 \leq - < 1750 \mu\text{m}^2$ , **4:**  $1750 \leq - < 3500 \mu\text{m}^2$ , **5:**  $3500 \leq - \leq 7000 \mu\text{m}^2$ , **6:**  $> 7000 \mu\text{m}^2$ .



**Figure 15.** Diagramme synthèse du lac Brûlé, Québec. Ce diagramme présente les caractéristiques de la séquence sédimentaire (épaisseur des couplets de lamines et données de la perte au feu), la concentration et l'influx des micro-charbons et des grains de pollen, la reconstitution paléoclimatique et les pointages pour les trois premiers axes de l'analyse des composantes principales. Les données de la reconstitution climatique représentent la moyenne des trois premiers analogues pour les températures et les précipitations annuelles moyennes. Une courbe lissée a été apposée sur les données paléoclimatiques. Pour la reconstitution, les lignes de référence ont été définies à partir de la moyenne calculée pour l'ensemble de la séquence (températures : 5,26°C et précipitations : 949,88 mm). La ligne de référence a été établie à zéro pour les résultats des pointages.



**Figure 16.** Comparaison entre le lac Brûlé et le lac Noir, Québec. Le diagramme présente les données du lac Brûlé (spectres marqués d'une étoile\*) et celles du lac Noir en alternance. Il est à noter que quarante années ont été retranchées de la chronologie du lac Noir afin d'aligner les courbes d'*Ambrosia*. Seuls les taxons les plus significatifs sont présentés. Les courbes des deux reconstitutions climatiques illustrent la moyenne des trois premiers analogues. La courbe des températures représente la moyenne pour les mois de juin, juillet et août. La courbe des précipitations équivaut à la somme totale pour ces mêmes trois mois. Valeurs des lignes de référence : Températures : 17,64°C (Brûlé)- 17,5°C (Noir) et Précipitations : 274,2 mm (Brûlé) et 287,2 mm (Noir).

## Chapitre 3. Sommaire et conclusions

Des sédiments laminés provenant du lac Brûlé, situé dans le sud-ouest du Québec, ont servi à établir une reconstitution à haute résolution temporelle de la végétation et du climat au cours des 1400 dernières années. Cette étude visait notamment à mesurer l'impact des variations climatiques de courte durée au cours de l'Holocène tardif (Optimum climatique médiéval et le Petit-Âge glaciaire) sur la végétation et la capacité d'enregistrement de ces périodes par le diagramme pollinique.

La présence de lamines distinctives a permis de procéder à l'interdatation des différentes carottes entre-elles. Bien que la chronologie utilisée est uniquement basée sur le comptage des lamines, d'autres méthodes ont été employées afin de vérifier leur nature annuelle. Deux sections de sédiments ont été datées via la méthode absolue au radiocarbone. De plus, la concordance entre la montée de l'ambrosie dans la partie supérieure du profil pollinique et l'établissement des Européens dans la région vient réaffirmer la justesse de la chronologie. Ces résultats, confirmant l'annualité du rythme de déposition des lamines, ont permis de démontrer que la séquence sédimentaire est constituée de varves.

Les analyses polliniques ont révélé qu'au cours des 1400 dernières années, le paysage de l'Outaouais a été dominé par des espèces arboréennes telles que *Pinus*, *Tsuga*, *Acer*, *Betula* et *Fagus*. Les changements observés dans les assemblages polliniques à travers le temps suggèrent que le milieu forestier a connu des variations dans sa composition et dans sa production pollinique.

Le diagramme pollinique a été divisé en trois zones majeures en fonction des résultats issus de l'analyse des composantes principales. Les limites de ces zones correspondent à des périodes de transition dans les assemblages polliniques. La zone A, qui s'étend de 615 à 1375 AD, est dominée par *Tsuga*, *Fagus* et *Acer*. La période subséquente, la zone B, s'étend de 1375 à 1860 AD et est subdivisée en quatre sous-zones. De manière générale, la zone B présente une

diminution de l'abondance des espèces décidues suivie d'un accroissement des conifères tels que *Pinus* et *Picea*. Le début de cette zone (B1) est marqué par une augmentation importante des espèces pionnières. Cette période est suivie par un accroissement notable des essences boréales (B2). À partir de 1600 AD, l'influx pollinique chute (B3) pour retrouver son niveau antérieur à partir de 1700 (B4). La hausse drastique des grains de pollen des herbacées et des arbustes à partir de 1860 AD marque le commencement de la zone C. Une reconstitution climatique basée sur les grains de pollen fossiles issus du lac Brûlé a été élaborée à l'aide de la technique des analogues modernes. La zone A, qui correspond à l'Optimum climatique médiévale, présente un climat relativement chaud et humide.

À partir de 1375 AD, dans la zone B, on observe une décroissance des pourcentages de plusieurs taxons arboréens. Les analyses des micro-charbons contenus dans les sédiments ont révélé que, de manière générale, les feux de forêt ne constituent pas un phénomène récurrent dans la région. Par contre, un accroissement de l'influx des charbons autour de 1375 AD suivi de modifications majeures dans les assemblages polliniques suggère un épisode de perturbation du milieu suite à un incendie forestier. Les résultats indiquent que l'incendie aurait affecté durablement le paysage. Suite au feu, on observe d'abord l'apparition de formations non-arborées formées notamment d'herbacées. Par la suite, on voit un accroissement des influx polliniques des espèces secondaires à croissance rapide (*Pinus*, *Alnus*, *Betula*, *Arbustes*, *Ostrya-Carpinus*). Ces observations témoignent de l'enclenchement du processus de succession écologique. Une augmentation des espèces secondaires s'observe aussi à la même période dans un autre diagramme pollinique provenant d'un lac situé à environ 25 km de distance du lac Brûlé, le lac Noir (Paquette et Gajewski, 2013). L'hypothèse qu'un feu se serait produit plus à proximité du lac Brûlé que du lac Noir est renforcée par la différence d'amplitude entre les courbes des deux diagrammes pour les espèces secondaires à partir de 1375 AD. Bien qu'on observe des augmentations des taxons associés à la succession secondaire dans le diagramme du lac Noir, celles-ci sont moins prononcées. Ces légères augmentations seraient donc le reflet de la dynamique paysagère régionale plutôt que locale. Le transport pollinique au niveau régional expliquerait en partie l'accroissement des pollens des espèces à bois tendre au cours de

cette période dans les sédiments du lac Noir. Par ailleurs, la reconstitution climatique indique que le climat se serait légèrement dégradé au cours de la zone B. Les températures et les précipitations seraient descendues sous les moyennes calculées pour l'ensemble de la séquence. Néanmoins, la comparaison de la présente reconstitution à celle élaborée à partir des pollens fossiles du lac Noir a mis en évidence une inexactitude interprétative liée au début du refroidissement climatique. Un phénomène stochastique local, en l'occurrence un feu, est venu affecter notablement la composition pollinique sur laquelle s'appuie la reconstitution climatique du lac Brûlé. Altérée par cet événement, la reconstitution apparaît alors imprécise puisqu'elle ne reflète pas complètement les tendances climatiques régionales. Bien que l'incendie fournisse une explication pour la majorité des changements qui se sont opérés dans le diagramme pollinique après 1375 AD, il se peut que l'enclenchement d'une dégradation climatique soit venu amplifier certaines tendances déjà amorcées, telles que l'augmentation des taxons boréaux. Il est néanmoins impossible de discerner clairement la contribution de changements climatiques présumés de celle reliée à la succession secondaire. Les deux phénomènes ont pu agir de manière simultanée. Ainsi, l'amorcée d'une dégradation climatique peut-être supposé, mais ne peut être confirmé par l'observation des deux diagrammes étudiés.

Un changement notable se produit au début du Petit-Âge glaciaire (zone B3). L'influx pollinique de l'ensemble des taxons décroît pour une période d'une centaine d'années. On remarque néanmoins que les espèces décidues connaissent une chute drastique alors que les espèces boréales diminuent de façon plus modérée. Un refroidissement climatique serait à l'origine des changements constatés dans le diagramme pollinique entre 1600 et 1700 AD. La dégradation du climat aurait engendré un effet de seuil à partir duquel la végétation a émis un signal aisément perceptible. L'altération des conditions climatiques sur une courte période se traduit, dans le diagramme, par une modification des assemblages et de l'influx pollinique. Ces modifications traduisent des changements dans la production pollinique ou dans la composition du milieu forestier. La chute de l'influx pollinique révèle non seulement la rapidité à laquelle la végétation répond à des modifications climatiques de courte durée, mais aussi la capacité des diagrammes à haute résolution temporelle à enregistrer ces changements subtils. Des variations

climatiques d'une ampleur suffisante, c'est-à-dire au-delà d'un certain seuil, peuvent provoquée une réponse de la végétation à l'intérieur d'une fenêtre temporelle d'à peine quelques décennies.

La capacité et la rapidité d'enregistrement par le diagramme pollinique des modifications qui se produisent dans le paysage transparaissent aussi suite à l'établissement des Européens dans la région. L'apparition des premières communautés d'Européens en Outaouais, vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, tel que relaté par les récits historiques (Biehler, 1990 ; L'écho des montagnes, 2011), est rapidement suivie par des modifications importantes dans les assemblages polliniques. Le déboisement des terres par le brûlage a mené à une augmentation significative des grains de pollen des graminées et à un accroissement des influx de charbons dans les sédiments.

Suite à la correction appliquée à la chronologie du lac Noir, la comparaison des diagrammes des deux lacs a mis en évidence le synchronisme des différents changements de la végétation au cours du dernier millénaire. Il existe néanmoins une différence entre les deux diagrammes; la chute de *Tsuga* ne se produit pas au même moment. Les deux sites indiquent que l'établissement d'un nouveau régime climatique au cours du Petit-Âge glaciaire a mené à une chute marquée de la production pollinique, et ce, particulièrement chez les taxons décidus. L'hypothèse d'une réponse rapide de la végétation des suites de modifications climatiques de courte durée est donc supportée par les diagrammes des deux sites. L'examen des similitudes et des dissemblances entre les diagrammes a non seulement permit de dater et de caractériser plus précisément les changements de végétation associés à l'avènement du Petit-Âge glaciaire dans la région de l'Outaouais, mais aussi de discerner plus clairement certains phénomènes locaux.

Afin d'acquérir une reconstruction plus précise de la variabilité du climat et de la végétation dans le passé, il serait nécessaire de procéder à des analyses polliniques sur des sédiments varvés provenant d'autres lacs situés en Outaouais. Certains aspects n'ont pu être

abordés en profondeur dans cette étude, notamment les processus de sédimentation dans le lac. Les connaissances limitées sur cet aspect rendaient toute interprétation paléolimnologique hasardeuse. Par ailleurs, il serait intéressant de cartographier l'étendue de la zone comportant des sédiments laminés et vérifier s'il y a correspondance avec la distribution des eaux anoxiques dans le lac. Des analyses sédimentologiques et limnologiques permettraient donc de mieux comprendre les dynamiques qui régissent la sédimentation dans le lac Brûlé.

Les résultats de cette étude apportent une nouvelle perspective quant à la conception générale selon laquelle le laps de temps minimal pour qu'un changement climatique puisse affecter la végétation et ainsi induire des modifications perceptibles dans un diagramme pollinique est de l'ordre d'un siècle ou plus. Il semble que le milieu forestier, malgré les différents niveaux de tolérance et de longévité des espèces arboréennes, soit en mesure d'envoyer un signal clair, et ce, à une échelle temporelle décennale.

## Bibliographie

- Allison, T.D., Moeller, R.E., & Davis, M.B. (1986). Pollen in laminated sediments provides evidence for a Mid-Holocene Forest pathogen outbreak. *Ecology*, 67 (4), 1101-1105.
- Anderson, R.Y., Dean, W.E., Bradbury, J.P., & Love, D. (1985). Meromictic lakes and varved lake sediments in North America. *United States Geological Survey Bulletin*, 1607, 1-18.
- Anderson, T.W. (1985). Late-Quaternary pollen records from eastern Ontario, Quebec and Atlantic Canada. Dans Bryant, V.M. Jr & Holloway, R.G. (Eds.) *Pollen records of Late-Quaternary North American sediments*. Austin, États-Unis: AASP Foundation, p. 281-326.
- Anderson, P., Bartlein, P., Brubaker, L., Gajewski, K., & Ritchie, J. (1991). Vegetation-pollen-climate relationships for the Arcto-Boreal region of North America and Greenland. *Journal of Biogeography*, 18, 565-582.
- Anderson, T.W., & Lewis, C.F. M. (1992). Climatic influences of deglacial drainage changes in southern Canada at 10 to 8 ka suggested by pollen evidence. *Géographie Physique et Quaternaire*, 46 (3), 255-272.
- Auestad, B. H., Shumway, R. H., Tjøstheim, D., & Verosub, K. L. (2008). Linear and nonlinear alignment of time series with applications to varve chronologies. *Environmetrics*, 19(4), 409-427.
- Bartlein, P.J., Webb III, T., & Fleri, E. (1984). Holocene climatic change in the northern Midwest: Pollen derived estimates. *Quaternary Research*, 22 (3), 361-374.
- Bennett, K.D. & Willis, K.J. (2001). Pollen. Dans Smol, J.P. & Birks, H.J.; Dernière: William, M. (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments*. Dordrecht. London, Royaume-Uni: Springer, p. 5-32.
- Bennett, K.D., & Fuller, J.L. (2002). Determining the age of the mid-Holocene *Tsuga Canadensis* (hemlock) decline, eastern North America. *The Holocene*, 12 (4), 421-429.
- Bernabo, J.C., & Webb III, T. (1977). Changing patterns in the Holocene pollen record of northeastern North America: A mapped summary. *Quaternary Research*, 8 (1), 64-96.
- Bhiry, N., & Filion, L. (1996) Mid-Holocene Hemlock Decline in eastern North America linked with phytophagous insect activity. *Quaternary Research*, 45 (3), 312-320.
- Bianchi, G.G., & McCave, I.N. (1999). Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. *Nature*, 397 (11), 515-517.
- Biehler, A. (1990). *A history of the German settlement in the township of Mulgrave-Derry, Quebec, 1850-1890*. Chelsea House Publications, 184 p.

- Blaauw, M., & Christen, J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6, 457-474.
- Bloesch, J. (1994). A review of methods used to measure sediment resuspension. *Hydrobiologia*, 284 (1), 13-18.
- Bloesch, J. (2004). Sedimentation and lake sediment formation. Dans O'Sullivan, P.E. et Reynolds, C.S. (Eds.), *The lakes handbook* (pp. 197-229). Malden, États-Unis: Blackwell Science.
- Blois, J.L., Williams, J.W., Fitzpatrick, M.C., Ferrier, S., Veloz, S.D., He, F., Liu, Z., Manion, G., & Otto-Bliesner, B. (2013). Modeling the climatic drivers of spatial patterns in vegetation composition since the Last Glacial Maximum. *Ecography*, 36 (4), 460-473.
- Boës, X., & Fagel, N. (2005). Impregnation method for detecting annual laminations in sediment cores: An overview. *Sedimentary Geology*, 179, 185-194.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*. 294 (5549), 2130-2136.
- Boyko-Diakonow, M. (1979). The laminated sediments of Crawford Lake, southern Ontario, Canada. Dans Schluchter, Ch. (Eds.), *Moraines and varves*. Rotterdam, Pays-Bas: Balkema, p. 303-308.
- Bradley, R.S. (2003). Climate forcing during the Holocene. Dans Mackay, A., Battarbee, R., Birks, J., & Oldfield, F., *Global change in the Holocene*. New York, États-Unis: Oxford University Press, p. 10-19.
- Burns, R.M., & Honkala, B.H. (1990). *Silvics of North America*. (vol. 2). Agriculture Handbook 654. Washington, États-Unis: USDA, Forest Service.
- Calef, M.P., McGuire, A.D., Epstein, H.E., Rupp, S., & Shugart, H.H. (2005). Analysis of vegetation distribution in Interior Alaska and sensitivity to climate change using a logistic regression approach. *Journal of Biogeography*, 32, 863-878.
- Carcaillet, C., & Richard, P.J.H. (2000). Holocene changes in seasonal precipitations highlighted by fire incidence in eastern Canada. *Climate Dynamics*, 16, 549-559.
- Clet-Pellerin, M., & Occhietti, S. (2000). Pleistocene palynostratigraphy in the St. Lawrence Valley and middle Estuary. *Quaternary International*, 68-71 (1), 39-57.
- Conway, J.S. (1982). A simplified method for impregnation of soils and similar clay-rich sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52 (2), 650-651.
- Cronin, T.M., Dwyer, G.S., Kamiya, T., Schewede, S., & Willard, D.A. (2003). Medieval Warm Period, Little Ice Age and 20<sup>th</sup> century temperatures variability from Chesapeake Bay. *Global and Planetary Change*, 36 (1-2), 17-29.

- Cronin, T.M., Thunell, R., Dwyer, G.S. Saenger, C., Mann, M.E., Vann, C., & Seal, R.R. (2005). Multiproxy evidence of Holocene climate variability from estuarine sediments, eastern North America. *Paleoceanography*, 20 (4), 1-21.
- Davidson, G.A. (1988). A modified tape-peel technique for preparing permanent qualitative microfossil slides. *Journal of Paleolimnology*, 1 (3), 229-243.
- Davis, M.B. (1968). Pollen grains in lake sediments: redeposition caused by seasonal water circulation. *Science*, 162, 796-799.
- Davis, R.B. (1974). Stratigraphic effects of tubificids in profundal lake sediments. *Limnology and Oceanography*, 19, 466-488.
- Davis, M.B., Spear, R.W., & Shane, L.C.K. (1980). Holocene climate of New England. *Quaternary Research*. 14 (2), 240-250.
- Davis, M.B. (1983)-a. Quaternary history of deciduous forests of eastern North America and Europe. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 70 (3), 550-563.
- Davis, M.B., (1983)-b. *Holocene vegetational history of the eastern United States*, Dans Wright, H.E. (Eds.), Late Quaternary environments of the United States (vol.2),. Minneapolis, États-Unis: University of Minnesota Press, p. 166-181.
- Davis, M.B., & Botkin, D.B. (1985). Sensitivity of cool-temperate forest and their fossil pollen record to rapid temperature change. *Quaternary Research*, 23 (3), 327-340.
- Dean, W.E., Bradbury, J.P., Anderson, R., & Barnosky, C. (1984). The variability of Holocene Climate change: evidence from varved lake sediments. *Science, New Series*, 226 (4679), 1191-1194.
- Denton, G.H., & Karlén, W. (1977). Holocene glacial and tree-line variations in the White River Valley and Skolai Pass, Alaska and Yukon Territory. *Quaternary Research*, 7 (1), 63-111.
- Dyke, A.S. (2005). Late Quaternary vegetation history of northern North America based on pollen, macrofossil, and faunal remains. *Géographie Physique et Quaternaire*, 59 (2-3), 211-262.
- Fægri, K. & Iversen, J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis* (IV edition). Caldwell, États-Unis: The Blackburn Press, 328 p.
- Francus, P., Keimig, F., & Besonen, M. (2002). An algorithm to aid varve counting and measurement from thin-sections. *Journal of Paleolimnology*, 28(2), 283-286.
- Fuller, J.L. (1998). Ecological impact of the mid-Holocene hemlock decline in southern Ontario, Canada. *Ecology*, 79 (7), 2337-2351.
- Gajewski, K. (1987). Climatic impacts on the vegetation of eastern North America during the past 2000 years. *Vegetatio*, 68 (3), 179-190.

- Gajewski, K., Swain, A.M., & Peterson, G.M. (1987). Late Holocene pollen stratigraphy in four northeastern United States lakes. *Géographie Physique et Quaternaire*, 41 (3), 377-386.
- Gajewski, K. (1988). Late holocene climate changes in eastern North America estimated from pollen data. *Quaternary Research*, 29, 255-262.
- Gajewski, K. (1993). The role of paleoecology in the study of global climatic change. *Review of Paleobotany and Palynology*, 79 (1-2), 141-151.
- Gaudreau, D.C., & WEBB III, T. (1985). Late-Quaternary pollen stratigraphy and isochrone maps for the northeastern United States. Dans V.M. Bryant, Jr. and R.G. Holloway (Eds.). *Pollen records of Late-Quaternary North American sediments*. Dallas, États-Unis: American Association of Stratigraphie Palynologists, p.247-280.
- Gorham, E., & Boyce, F.M. (1989). Influence of lake surface area and depth upon thermal stratification and depth of the summer thermocline. *Journal of Great Lakes Research*, 15 (2), 233-245.
- Green, D.G. (1983). The ecological interpretation of fine resolution pollen records, *New Phytologist*, 94 (3), 459-477.
- Grove, J.M., & Switsur, R. (1994). Glacial geological evidence for the Medieval Warm Period. *Climatic Change*, 26, 143-169.
- Grove, J.M. (2004). *Little Ice Ages: Ancient and Modern* (Seconde edition). New York, États-Unis: Routledge, 718 p.
- Hakanson, L. & Jansson, M. (1983). *Principles of Lake Sedimentology*. New York, États-Unis : Springer-Verlag, 316 p.
- Heiri, O., Lotter, A.F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101-110.
- Hicks, S. (1999). The relationship between climate and annual pollen production at northern treelines. *Chemosphere Global Change Science*, 1, 403-416.
- Hu, F.S., Slawinski, D., Wright Jr, H.E., Ito, E., Johnson, R.G., Kelts, K.R., McEwan, R.F., & Boedigheimer, A. (1999). Abrupt changes in North American climate during early Holocene times. *Nature*, 400 (6743), 437-439.
- Jackson, S.T., Webb, R.S., Anderson, K.H., Overpeck, J.T., Webb III, T., Williams, J.W., & Hansen, B.C.S. (2000). Vegetation and environment in Eastern North America during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19 (6), 489-508.
- Jacobson Jr., G. L., & Bradshaw, R. H. W. (1981). The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research*, 16(1), 80-96.

- Jim, C.Y. (1985). Impregnation of moist and dry unconsolidated clay samples using Spurr resin for microstructural studies. *Journal of Sedimentary and Petrology*, 55, 597-599.
- Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Desprat, S., Grigg, L.D., Grimm, E.C., Heusser, L.E., Jacobs, B.F., Lopez-Martinez, C., Whitlock, C.L., & Willard, D.A. (2010). Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from North America. *Quaternary Science Reviews*, 29, 2865-2881.
- Jones, R., Dickman, M.D., Mott, R.J., & Ouellet, M. (1984). Late Quaternary diatom and chemical profiles from a meromictic lake in Quebec, Canada. *Chemical Geology*, 33 (1-3), 267-286.
- Karlén, W., & Kuylenstierna, J. (1996). On solar forcing of Holocene climate: evidence from Scandinavia. *The Holocene*, 6 (3), 359-365.
- Keizer, P.S. (2012). Forest dynamics in relation to late-Holocene climatic variability, eastern Ontario, Canada. Thèse de maîtrise en géographie. Ottawa: Université d'Ottawa, 155 p.
- Kutzbach, J.E., & Webb III, T. (1993). Chapitre 2: Conceptual basis for understanding Late Quaternary climates. Dans Wright Jr, H.E., Kutzbach, J.E., Webb III, T., Ruddiman, W.F., Street-Perrott, F.A., & Bartlein, P.J. *Global climates since the Last Glacial Maximum* Minneapolis, États-Unis: University of Minnesota Press, p. 5-11.
- Lamoureux, S. (2001). Varve chronology techniques. Dans *Tracking Environmental change using lake sediments*. (vol.1). Dordrecht, Pays-Bas: Kluwer Academic Publishers, p. 247-260.
- Larsen, C.P.S., & MacDonald, G.M. (1993). Lake morphometry, sediment mixing and the selection of sites for fine resolution paleoecological studies. *Quaternary Science Reviews*, 12 (9), 781-792.
- Larsen, C.P.S., Pienitz, R., Smol, J.P., Moser, K.A., Cumming, B.F., Blais, J.M., MacDonald, G.M. & Hall, R.I. (1998). Relations between lake morphometry and the presence of laminated lake sediments; A re-examination of Larsen and MacDonald (1993). *Quaternary Sciences Reviews*, 17 (8), 711-717.
- L'écho des montagnes. (2011). Ripon, 150 ans de vie municipale, 1861-2011. 2 (1), 32 p.
- Lévesque, A.J., Mayle, F.E., Walker, I.R., & Cwynar, L.C. (1993). A previously unrecognized late-glacial cold event in eastern North America. *Nature*. 361 (6413), 623-626.
- Lewis, W.H., Vinay, P., & Zenger, V.E. (1983). *Airborne and Allergenic pollen of North America*. John Hopkins University Press, 254 p.
- Liu, K.B. (1990). Holocene paleoecology of the Boreal forest and Great Lakes-St. Lawrence forest in northern Ontario. *Ecological Monographs*, 60 (2), 179-212.

- Lopez-Buendia, A.M. (1998). A new method for the preparation of peat samples for petrographic study by transmitted and reflected light microscopy. *Journal of Sedimentary Research*, 68 (1), 214-217.
- Loso, M.G. (2009). Summer temperature during the Medieval Warm Period and Little Ica Age inferred from proglacial lake sediments in southern Alaska. *Journal of Paleolimnology*, 41 (1), 117-128.
- Lotter, A.F., & Lemcke, G. (1999). Methods for preparing and counting biochemical varves. *Boreas*, 28, 243-252.
- Ludlam, S.D. (1969). Fayetteville Green Lake, New York. III. The laminated sediments. *Limnology and Oceanography*, 14, 848-857.
- Lutz, D.A., Shugart, H.H., Ershov, D.V., Shuman, J.K., & Isaev, A.S. (2013). Boreal forest sensitivity to increased temperatures at multiple successional stages. *Annals of Forest Science*, 70, 299-308.
- Lytle, D.E., & Wahl, E.R. (2005). Palaeoenvironmental reconstructions using the modern analogue technique: the effects of sample size and decision rules. *The Holocene*, 15 (4), 554-566.
- Mackenzie, A.F., & Dawson, J.E. (1961). The preparation and study of thin sections of wet organic soils materials. *Journal of Soil Science*, 12 (1), 142-148.
- Mann, M.E., Zhang, Z., Hughes, M.K., Bradley, R.S., Miller, S.K., Rutherford, S., & Ni, F. (2008). Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (36), 13252-13237.
- Marsicek, J.P., Shuman, B., Brewer, S., Foster, D.R., & Oswald, W.W. (2013). Moisture and temperature changes associated with the mid-Holocene *Tsuga* decline in the northeastern United States. *Quaternary Science Reviews*, 80, 129-142.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlén, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., Van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Scheinder, R.R., & Steig, E.J. (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62 (3), 243-255.
- McAndrews J.H., Berti, A.A. & Norris, G. (1973). *Key to Quaternary pollen and spores of the Great Lakes region*. Toronto, Canada : Royal Ontario Museum, 61 p.
- McDermott, F., Matthey, D.P., & Hawkesworth, C. (2001). Centennial-scale Holocene climate variability revealed by a high-resolution speleothem  $\delta^{18}\text{O}$  record from SW Ireland. *Science*, 294 (5545), 1328-1331.
- McLeroy, C.A., & Anderson, R.Y. (1966). Laminations of the Oligocene Florissant Lake deposits, Colorado. *Bulletin of the Geological Society of America*, 77 (6), 605-618.

- Meese, D.A., Gow, A.J., Grootes, P., Stuiver, M., Mayewski, P.A., Zielinski, G.A., Ram, M., Taylor, K.C., & Waddington, E.D. (1994). The accumulation record from the GISP2 core as an indicator of the climate change throughout the Holocene. *Sciences*, 266 (5191), 1680-1682.
- Minckley, T.A., Booth, R.K., & Jackson, S.T. (2011). Response of arboreal pollen abundance to late-Holocene drought events in the Upper Midwest, USA. *The Holocene*, 22 (5), 531-539.
- Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'information géologique du Québec, Gouvernement du Québec. (2012). *Les grands ensembles géologiques du Québec*. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/mines/provinces-geologiques-8x11.pdf> (site consulté le 27 août 2013).
- Ministère des ressources naturelles, faunes et parcs du Québec. (2013). *Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec*. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/inventaire/inventaire-zones-carte.jsp> (site consulté le 27 août 2013).
- Mladenoff, D.J., & Stearns, F. (1993). Eastern hemlock regeneration and deer browsing in the Northern Great Lakes region: a re-examination and model simulation. *Conservation Biology*, 7 (4), 889-900.
- Moore, P.D., Webb, J.A., & Collinson, M.E. (1991). *Pollen Analysis* (Seconde édition): Blackwell Scientific, 216 p.
- Moore, J.J., Hughen, K.A., Miller, G.H., & Overpeck, J.T. (2001). Little Ice Age recorded in summer temperature reconstruction from varved sediments of Donard lake, Baffin Island, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 25 (4), 503-517.
- Mott, R.J. & Farley-Gill, L.D. (1981). Two late quaternary pollen profiles from Gatineau park, Quebec. *Geological Survey of Canada*, Papier 80-31, 1-10.
- Mott, R.J. & Camfield, M. (1969). *Palynological studies in the Ottawa area*. Ottawa : Department of Energy, Mines and Resources, 16 p.
- Mott, R.J. (1977). Late-Pleistocene and Holocene palynology in southeastern Québec. *Géographie Physique et Quaternaire*, 31 (1-2), 139-149.
- Muller, W.P. (1964). The distribution of cladoceran remains in surficial sediments from three northern Indiana lakes. *Invest Indiana Lakes Streams*, 6, 1-63.
- Muller, S.D., & Richard, P.J.H. (2001) Post-glacial vegetation migration in conterminous Montréal Lowlands, southern Québec. *Journal of Biogeography*, 28 (10), 1169-1193.
- Muller, S.D., Richard, P.J.H., Guiot, J., de Beaulieu, J-L., & Fortin, D. (2003). Postglacial climate in the St. Lawrence lowlands, southern Québec: pollen and lake-level evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193 (1), 51-72.

- Murray, B.D., Holmes, S.A., Webster, C.R., & Witt, J.C. (2012). Post-disturbance plant community dynamics following a rare natural-origin fire in a *tsuga Canadensis* forest. *PLoS ONE*, 7 (8), 1-11.
- Myrbo, A. (2007). Smear slides, *LRC LacCore SOP Series*. <http://lrc.geo.umn.edu/laccore/assets/pdf/sops/smearslides.pdf>
- O'Brien, S.R., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S., & Whitlow, S.I. (1995). Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland Ice core. *Science*, 270 (5244), 1962-1964.
- Ojala, A.E.K., Saarinen, T., & Salonen, V.P. (2000). Preconditions for the formation of annually laminated lake sediments in southern and central Finland. *Boreal Environment Research*, 5 (3), 243-255.
- Ojala, A.E.K., Francus, P., Zolitschka, B., Besonen, M., & Lamoureux, S.F. (2012). Characteristics of sedimentary varve chronologies – A review. *Quaternary Sciences Reviews*, 43, 45-60.
- O'Sullivan, P. E. (1983). Annually-laminated lake sediments and the study of quaternary environmental changes - a review. *Quaternary Science Reviews*, 1(4), 245-313.
- O'Sullivan, P.E. (2004). Sedimentation and lake sediment formation. Dans O'Sullivan, P.E. et Reynolds, C.S. (Eds.), *The lakes handbook* Malden, États-Unis: Blackwell Science, p. 197-229.
- Overpeck, J.T., Webb, R.S., & Webb III, T. (1992). Mapping eastern North American vegetation change of the past 18 ka: No-analogs and the future. *Geology*, 20 (12), 1071-1074.
- PAGES 2k network- Ahmed, M., Anchukaitis, K.J., Asrat, A., Borgaonkar, H.P., Braida, M., Buckley, B.M., Büntgen, U., Chase, B.M., Christie, D.A., Cook, E.R., Curran, M.A.J., Diaz, H.F., Esper, J., Fan, Z.-X., Gaire, N.P., Ge, Q., Gergis, J., González-Rouco, J.F., Goosse, H., Grab, S.W., Graham, N., Graham, R., Grosjean, M., Hanhijärvi, S.T., Kaufman, D.S., Kiefer, T., Kimura, K., Korhola, A.A., Krusic, P.J., Lara, A., Lézine, A.M., Ljungqvist, F.C., Lorrey, A.M., Luterbacher, J., Masson-Delmotte, V., McCarroll, D., McConnell, J.R., McKay, N.P., Morales, M.S., Moy, A.D., Mulvaney, R., Mundo, I.A., Nakatsuka, T., Nash, D.J., Neukom, R., Nicholson, S.E., Oerter, H., Palmer, J.G., Phipps, S.J., Prieto, M.R., Rivera, A., Sano, M., Severi, M., Shanahan, T.M., Shao, X., Shi, F., Sigl, M., Smerdon, J.E., Solomina, O.N., Steig, E.J., Stenni, B., Thamban, M., Trouet, V., Turney, C.S.M., Umer, M., Cvan Ommen, T., Verschuren, D., Viau, A.E., Villalba, R., Vinther, B.M., Von Gunten, L., Wagner, S., Wahl, E.R., Wanner, H., Werner, J.P., White, J.W.C., Yasue, K., & Zorita, E. (2013). Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 6 (5), 339-346.
- Paquette, N., & Gajewski, K. (2013). Climatic change causes abrupt changes in forest composition, inferred from a high-resolution pollen record, southwestern Quebec, Canada. *Quaternary Science Reviews*, 75, 169-180.

- Pederson, D.C., Peteet, D.M., Kurdyla, D., & Guilderson, T. (2005). Medieval warming, Little Ice Age, and European impact on the environment during the last millennium in the lower Hudson Valley, New York, USA. *Quaternary Research*, 63 (3), 238-249.
- Peros, M.C., Gajewski, K., & Viau, A.E. (2008). Continental-scale tree population response to rapid climate change, competition and disturbance. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 658-669.
- Peros, M.C., & Gajewski, K. (2009). Pollen-based reconstructions of late Holocene climate from central and western Canadian Arctic. *Journal of Paleolimnology*, 41, 161-175.
- Peteet, D. (2000). Sensitivity and rapidity of vegetational response to abrupt climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (4), 1359-1361.
- Porter, S.C. (1986). Pattern and forcing of Northern Hemisphere glacier variations during the Last Millenium. *Quaternary Research*, 26 (1), 27-48.
- Potzer, J.E. & Courtemanche, A. (1956). Pollen study in the Gatineau Valley, Quebec. *Butler University Botanical Studies*, 13 (4), 12-23.
- Prentice, I.C. (1983). Postglacial climatic change: vegetation dynamics and the pollen record. *Progress in Physical Geography*, 7, 273-286.
- Prentice, I.C., Bartlein, P.J., & Webb III, T. (1991). Vegetation and climate change in Eastern North America since the last Glacial Maximum. *Ecology*, 72 (6), 2038-2056.
- Pusch, R. (1999). Experience from preparation and investigation of clay microstructure. *Engineering Geology*, 54 (1-2), 187-194.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009). IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 Cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111-1150.
- Renberg, I. (1981). Improved methods for sampling, photographing and varve-counting of varved lake sediments. *Boreas*, 10, 255-258.
- Richard, P. J.H. (1970). Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec. *Le naturaliste canadien*, 97, 1-34, 97-161, 241-306.
- Richard, P. J.H. (1985). Couvert végétal et paléoenvironnements du Québec entre 12 000 et 8000 ans BP : L'habitabilité dans un milieu changeant. *Recherches amérindiennes au Québec*, 15 (1-2), 39-56.

- Richard, P.J.H. (1993). Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 79 (1-2), 31-69.
- Richard, P.J.H. (1994). Postglacial palaeophytogeography of the eastern St. Lawrence River Watershed and the climatic signal of the pollen record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109 (2-4), 137-161.
- Richard, P.J.H., & Grondin, P. (2009). Histoire postglaciaire de la végétation. Dans *Manuel de foresterie*. Ordre des ingénieurs du Québec.). Québec, Canada : Éditions MultiMondes, p. 170-176.
- Riedel, M., Collett, T.S., Malone, M.J., & the expedition 311 scientists. (2006). Methods, *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, 311, 1-76.
- Ritchie, J.C., Cwynar, L.C., & Spear, R.W. (1983). Evidence from north-west Canada for an early Holocene Milankovitch thermal maximum. *Nature*, 305 (5930), 126-128.
- Rymer, L., & Neale, J. (1981). Freeze coring as a method of collecting unconsolidated lake sediments. *Australian Journal of Ecology*, 6 (1), 123-126.
- Saarnisto, M. (1986). Annually laminated lake sediments. Dans Berglund, B.E. (Eds.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, New York, États-Unis: Wiley, p. 343-370.
- Sawada, M. (2006). An open source implementation of the Modern Analog Technique (MAT) within the R computing environment. *Computers and Geosciences*, 32, 818-833.
- Serruya, C., & Serruya, S. (1966). L'influence des conditions thermiques et biochimiques sur la sédimentation lacustre : Diagenèse primaire des différents types de sédiments. *Revue de Géographie Alpine*, 54 (1), 113-129.
- Shapiro, J. (1958). The Core-Freezer-A New Sampler for Lake Sediments. *Ecology*, 39(4), 758.
- Shuman, B., Bartlein, P., Logar, N., Newby, P., & Webb III, T. (2002)a. Parallel climate and vegetation responses to the early Holocene collapse of the Laurentide Ice Sheet. *Quaternary Science Reviews*, 21 (16-17), 1793-1805.
- Shuman, B., Webb III, T., Bartlein, P., & William, J.W. (2002)b. The anatomy of a climatic oscillation: vegetation change in eastern North America during the Younger Dryas chronozone. *Quaternary Science Reviews*. 21 (16-17). 1777-1791.
- Shuman, B., Bartlein, P.J., & Webb III, T. (2005). The magnitudes of millennial- and orbital-scale climatic change in eastern North America during the Late Quaternary. *Quaternary Sciences Reviews*, 24 (20-21), 2194-2206.

- Shuman, B., Newby, P., & Donnelly, J.P. (2009). Abrupt climate change as an important agent of ecological change in the Northeast U.S. throughout the past 15, 000 years. *Quaternary Science*, 28 (17-18), 1693-1709.
- Shuman, J.K., Shugart, H.H., & O'Halloran, T.L. (2011). Sensitivity of Siberian larch forests to climate change. *Global Change Biology*, 17, 2370-2384.
- Simola, H. (1979). Micro-stratigraphy of sediment laminations deposited in a chemically stratifying eutrophic lake during the 1913-1976. *Holarctic Ecology*, 2, 160-168.
- Spurr, A.R. (1969). A low viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *Journal of Ultrastructure Research*, 26, 31-57.
- Statistique Canada. (2007). *Mulgrave-et-Derry, Québec (Code2480085) (tableau)*. Profil de la population autochtone, Recensement de 2006, produit n° 92-594-XWF au catalogue de Statistique Canada. Ottawa. Diffusé le 15 janvier 2008. <http://www12.statcan.ca/census-recensement/2006/dp-pd/prof/92-594/index.cfm?Lang=F> (site consulté le 3 septembre 2013).
- St-Jacques, J.M., Douglas, M.S.V., & McAndrews, J.H. (2000). Mid-Holocene hemlock decline and diatom communities in van Nostrand Lake, Ontario, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 23 (4), 385-397.
- St. Jacques, J. -, Cumming, B. F., & Smol, J. P. (2008). A statistical method for varve verification using seasonal pollen deposition. *Journal of Paleolimnology*, 40(2), 733-744.
- Stokes, M.A., & Smiley, T.L. (1996). *An Introduction to Tree-Ring Dating*. Tucson, États-Unis: University of Arizona Press, 73 p.
- Stuiver, M. & Reimer, P.J. (1993). Extended <sup>14</sup>C database and revised CALIB radiocarbon calibration program, *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Swain, A.M. (1978). Environmental changes during the past 2000 years in north-central Wisconsin: Analysis of pollen, charcoal, and seeds from varved lake sediments, *Quaternary Research*, 10 (1), 55-68.
- Takeda, H. (1987). A rapid method for preparing thin sections of soil organic layers. *Geoderma*, 42, 159-164.
- Tarduno, J.A., Duncan, R.A., Scholl, D.W., et al. (2002). Explanatory note. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 197, 89 p.
- Terasmae, J., & Mott, R. J. (1964). Pollen deposition in lakes and bogs near Ottawa, Canada. *Revue Canadienne de Botanique*, 42(10), 1355-1363.
- Terry, R.D., & Chilingar, G.V. (1955). Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations" by M.S. Shvetsov, *Journal of Sedimentary Petrology*, 25 (3), 229-234.

- Tian, J.A., Nelson, D.M., & Hu, F.S. (2011). How well do sediment indicators record past climate? An evaluation using annually laminated sediments. *Journal of Paleoclimatology*, 45(1), 73-84.
- Tiljander, M., Ojala, A., Saarinen, T., & Snowball, I. (2002). Documentation of the physical properties of annually laminated (varved) sediments at a sub-annual to decadal resolution for environmental interpretation. *Quaternary International*, 88, 5-12.
- Tinner, W., & Lotter, A.F. (2001). Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology*, 29 (6), 551-554.
- Traverse, A. (2007). *Paleopalynology* (Second edition). Springer, 813 p.
- Tylmann, W., Szpakowska, K., Ohlendorf, C., Woszczyk, M., & Zolitschka, B. (2012). Conditions for deposition of annually laminated sediments in small meromictic lakes: a case study of Lake Suminko (northern Poland). *Journal of Paleolimnology*, 47 (1), 55-70.
- Viau, A.E., Gajewski, K., Sawada, M.C., & Fines, P. (2006). Millennial-scale temperature variations in North America during the Holocene. *Journal of Geophysical Research*, 111 (9), 1-12.
- Viau, A.E., & Gajewski, K. (2009). Reconstructing millennial-scale, regional paleoclimates of boreal Canada during the Holocene. *Journal of Climate*, 22 (2), 316-330.
- Viau, A.E., Ladd, M., & Gajewski, K. (2012). The climate of North America during the past 2000 years reconstructed from pollen data. *Global and Planetary Change*. (84-85), 75-83.
- Wahl, E.R., Diaz, H., & Ohlwein, C. (2012). A pollen-based reconstruction of summer temperature in central North America and implications for circulation patterns during medieval times. *Global and Planetary Change*, (84-85), 66-74.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubash, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M., & Widmann, M. (2008). Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27 (19-20), 1791-1828.
- Webb III, T., Bartlein, P.J., Harrison, S.P., & Anderson, K.H. (1993). Vegetation, lake levels, and climate in eastern North America for the past 18 000 years. Dans Wright Jr, H.E., Kutzbach, J.E., Webb III, T., Ruddiman, W.F., Street-Perrot, F.A., Bartlein, P.J., *Global climates since the last Glacial Maximum*). Minneapolis, États-Unis: University of Minnesota Press, p. 415-467.
- Wigley, T.M.L., Jones, P.D., & Briffa, K.R. (1987). Cross-dating methods in dendrochronology. *Journal of Archaeological Science*, 14, 51-64.
- William, J.W., Post, D.M., Cwynar, L.C., Lotter, A.F., & Levesque, A.J. (2002). Rapid and widespread vegetation responses to past climate change in North Atlantic region. *Geology*, 30 (11), 971-974.

- Williams, J.W., Shuman, B.N., Webb III, T., Bartlein, P.J., & Leduc, P. (2004). Late-Quaternary vegetation dynamics in North America: scaling from taxa to biomes. *Ecological Monographs*, 74 (2), 309-334.
- William, J.W., & Shuman, B.N. (2008). Obtaining accurate and precise environmental reconstructions from the modern analog technique and North American surface pollen dataset. *Quaternary Science Reviews*, 27 (7-8), 669.
- Williams, J.W., Blois, J.L., & Shuman, B.N. (2011). Extrinsic and intrinsic forcing of abrupt ecological change: case studies from the late Quaternary. *Journal of Ecology*, 99, 664-677.
- Winfrey, M.R., & Zeikus, J.G. (1979). Microbial methanogenesis and acetate metabolism in a meromictic lake. *Applied and Environmental Microbiology*, 37 (2), 213-221.
- Whitmore, J., Gajewski, K., Sawada, M., Williams, J.W., Shuman, B., Bartlein, P.J., Minckley, T., Viau, A.E., Webb III, T., Anderson, P.M., & Brubaker, L.B. (2005). A North American and Greenland modern pollen database for multi-scale paleoecological and paleoclimatic applications. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1828-1848.
- Withney, G. (1994). *From Coastal Wilderness to Fruited Plain*. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press, 451 p.
- Woodhouse, C.A., & Overpeck, J.T. (1998). 2000 years of drought variability in the Central United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (12), 2693-2714.
- Wright Jr., H.E. (1971). Late Quaternary vegetational history of North America. Dans Turekian, K.K. (Eds.), *The Late Cenozoic Glacial Ages*, Yale University Press, p. 425-464.
- Wright Jr, H.E. (1976). The dynamic nature of Holocene vegetation: a problem in paleoclimatology, biogeography, and stratigraphic nomenclature. *Quaternary Research*, 6 (4), 581-596.
- Zhao, Y., Yu, Z.C., & Zhao, C. (2010). Hemlock (*Tsuga Canadensis*) declines at 9800 and 5300 cal. Yr BP caused by Holocene climatic shifts in northeastern North America. *The Holocene*, 20 (6), 877-886.
- Zhang, N., Shugart, H.H., & Yan, X. (2009). Simulating the effect of climate change on Eastern Eurasia forests. *Climatic Change*, 95, 341-361.
- Ziegler, S.S. (2000). A comparison of structural characteristics between old-growth and postfire second-growth hemlock-harwood forests in Adirondack Park, New York, U.S.A. *Global Ecology and Biogeography*, 9 (5), 373-389.
- Zolitschka, B. (2007). Varved lake sediments. Dans S.A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Quaternary Science*. Amsterdam, Pays-Bas: Elsevier, p. 3105-3114.

Annexe 1. Données polliniques

An AD	An BP	Pinus dipl.	Pinus hapl.	Pinus indiff.	Picea	Abies	Larix	Tsuga	Thuja/Jun	Acer negundo	Acer rubrum	Acer saccharum	Acer saccharinum	Acer indiff.
2005	-50	6	35	74	25.5	12	0	21	17	0	1	4	0	5
1995	-40	3	47	54.5	18	9	1	12	8	0	2	3	0	5
1965	-10	4	51	104.5	18.5	7	0	18	24	0	2	2	2	7
1955	0	1	65	97.5	22.5	6	0	21	12	0	1	2	1	8
1945	10	17	54	89.5	18	9	1	27	10	0	0	0	6	3
1935	20	10	80	79	22.5	6	2	26	8	2	1	7	0	7
1925	30	8	95	142.5	15.5	6.5	1	35	20	0	1	3	0	3
1915	40	14	61	87	51.5	7	4	73	20	0	3	4	2	6
1905	50	3	78	90	28	6	1	62	35	3	0	2	1	6
1895	60	3	75	78	10	10	0	53	32	0	1	3	0	10
1885	70	0	48	106	23	11.5	2	76	33	0	0	0	1	13
1875	80	2	75	80.5	11	4	0	43	18	1	2	6	0	4
1865	90	2	55	103.5	14	2	3	58	13	0	2	7	1	3
1855	100	8	92	125.5	21	0.5	2	46	11	4	4	1	5	1
1845	110	3	52	92	13	8.5	2	43	11	0	1	6	0	2
1835	120	13	88	105.5	29	2.5	7	63	10	1	2	2	2	3
1825	130	2	59	63.5	16.5	5	10	57	8	0	1	1	0	7
1815	140	5	29	61.5	16	15.5	1	74	9	0	0	4	1	9
1805	150	4	36	60	17	4.5	4	78	30	3	1	3	2	2
1795	160	5	38	66	11	0	6	65	12	0	0	5	3	4
1785	170	0	45	82.5	15	10.5	7	51	21	0	0	2	0	5
1775	180	2	31	45	20.5	3	5	48	22	0	0	2	1	3
1765	190	3	52	73.5	17	8	3	45	14	0	1	6	1	3
1755	200	4	66	62.5	3.5	0.5	3	33	11	0	0	4	1	11
1745	210	4	98	83.5	8	5	2	34	7	0	1	0	0	14
1735	220	6	85	69	18	4	4	44	19	0	0	3	4	1
1725	230	8	77	75	17.5	7	4	55	28	0	0	7	0	6
1715	240	1	68	111	15.5	16	6	55	12	0	1	10	0	6
1705	250	3	69	78	10	2.5	5	54	22	1	0	6	2	4
1695	260	2	66	80.5	12.5	8.5	1	50	5	0	2	1	0	2
1685	270	15	60	170.5	35	9.5	1	71	5	0	0	4	0	5
1675	280	0	79	85.5	19	17	4	54	7	0	0	1	0	7
1665	290	3	73	102.5	12.5	6.5	4	73	14	0	1	4	1	5

---

An AD	An BP	Carya	Ostrya/Carpinus	Betula	Fagus	Fraxinus 3c.	Fraxinus 4c.	Juglans cinera	Populus	Quercus	Tilia	Ulmus	Platanus	Castanea
2005	-50	1	12	127	9	4	4	1	4	39	0	7	0	0
1995	-40	1	14	143	11	6	4	1	2	26	1	13	0	0
1965	-10	1	10	145	20	16	3	0	2	29	0	9	1	0
1955	0	0	7	136	19	7	6	1	1	25	2	17	0	1
1945	10	2	12	126	19	5	1	3	0	15	2	10	0	0
1935	20	0	16	142	22	7	0	1	2	21	0	9	0	0
1925	30	0	13	112	20	5	1	2	1	6	1	11	0	0
1915	40	6	16	153	25	10	0	1	3	27	4	12	0	0
1905	50	2	14	140	27	14	0	1	0	19	0	7	1	0
1895	60	4	12	113	34	3	1	2	1	10	3	4	0	0
1885	70	1	6	139	23	4	2	1	2	16	2	8	0	0
1875	80	2	4	149	25	8	4	0	0	22	2	12	1	0
1865	90	1	5	98	23	2	4	2	0	22	0	8	1	0
1855	100	0	13	111	25	4	1	2	1	11	1	13	2	0
1845	110	3	7	134	26	8	0	0	0	17	1	14	1	0
1835	120	0	13	182	27	13	3	1	1	26	3	16	2	0
1825	130	1	16	133	21	3	0	4	1	17	4	11	2	1
1815	140	1	15	126	28	7	0	3	1	9	0	15	1	0
1805	150	1	11	127	17	10	1	0	3	23	1	18	0	0
1795	160	1	16	155	23	8	0	3	0	30	1	13	0	0
1785	170	2	13	150	26	8	3	1	1	29	2	14	1	0
1775	180	3	18	137	14	8	3	1	2	25	1	9	1	0
1765	190	2	2	145	21	5	2	2	2	27	3	16	1	0
1755	200	1	7	166	19	5	0	1	1	26	1	16	0	0
1745	210	2	9	154	19	9	1	3	1	15	2	9	4	0
1735	220	4	8	141	19	16	3	1	1	22	0	10	1	1
1725	230	2	4	175	20	7	4	3	2	37	3	18	0	0
1715	240	3	9	130	12	10	0	3	1	24	3	18	1	1
1705	250	2	14	164	5	11	2	3	0	24	3	10	1	0
1695	260	2	19	135	15	11	1	3	1	22	2	6	0	0
1685	270	1	15	133	10	9	0	1	0	22	1	8	0	0

---

---

An AD	An BP	Carya	Ostrya/Carpinus	Betula	Fagus	Fraxinus 3c.	Fraxinus 4c.	Juglans cinera	Populus	Quercus	Tilia	Ulmus	Platanus	Castanea
1675	280	2	11	124	14	6	0	1	0	19	1	9	1	0
1665	290	0	18	112	12	6	0	1	0	24	2	10	0	0
1655	300	0	10	103	11	6	0	2	0	21	1	13	2	0
1645	310	4	14	115	7	8	1	0	3	35	1	6	1	0
1635	320	1	8	98	12	5	0	0	0	26	2	10	0	0
1625	330	1	16	130	40	9	0	0	1	13	3	13	1	0
1615	340	1	13	179	27	11	0	2	1	15	2	16	0	1
1605	350	2	10	170	31	11	1	4	1	22	0	7	3	0
1595	360	2	13	170	38	14	0	1	3	28	1	28	0	0
1585	370	1	3	118	19	12	1	1	0	19	1	15	0	0
1575	380	5	20	149	29	9	1	3	0	15	1	13	0	0
1565	390	1	30	130	16	7	0	5	3	21	3	12	1	1
1555	400	1	18	138	22	12	1	4	3	14	0	14	2	0
1545	410	4	2	134	17	12	1	0	1	14	0	6	0	0
1535	420	2	13	114	32	6	5	1	3	18	3	18	1	0
1525	430	1	22	165	24	12	1	6	3	27	3	13	4	0
1515	440	5	9	125	19	13	3	0	0	20	1	11	0	0
1505	450	1	11	150	27	16	0	0	2	20	3	15	0	0
1495	460	0	13	124	22	8	0	1	3	20	0	14	0	0
1485	470	0	4	135	39	10	2	2	0	31	1	31	1	0
1475	480	2	7	150	27	5	2	1	2	22	0	16	0	0
1465	490	2	5	157	36	13	4	3	1	23	1	18	1	0
1455	500	2	8	127	30	22	1	1	1	28	1	12	2	0
1445	510	1	8	148	40	6	2	1	0	16	1	9	1	0
1435	520	0	15	144	45	16	3	3	2	16	0	11	2	1
1425	530	1	13	165	28	7	1	3	2	13	2	11	1	0
1415	540	5	18	218	37	18	3	4	0	30	1	20	0	1
1405	550	3	7	140	30	14	1	2	1	22	2	12	3	0
1395	560	0	14	94	19	20	0	1	0	13	3	9	1	0
1385	570	2	14	69	31	9	0	1	0	26	0	8	0	0
1375	580	3	14	113	29	6	2	0	1	20	3	23	1	0
1365	590	1	4	128	28	17	1	3	2	15	2	18	0	0
1355	600	1	12	130	64	13	0	1	0	17	4	15	0	0
1345	610	5	12	137	49	4	2	0	1	21	3	16	1	0

---

An AD	An BP	Carya	Ostrya/Carpinus	Betula	Fagus	Fraxinus 3c.	Fraxinus 4c.	Juglans cinera	Populus	Quercus	Tilia	Ulmus	Platanus	Castanea
1335	620	1	11	116	41	11	0	1	0	13	1	11	0	0
1325	630	1	14	162	35	9	2	0	2	11	3	13	2	0
1315	640	0	5	162	37	8	3	3	1	12	0	19	1	0
1305	650	2	10	156	39	15	1	2	0	15	4	15	2	0
1295	660	3	13	180	50	8	4	1	0	10	2	16	1	0
1285	670	0	11	182	60	13	1	0	0	21	4	17	0	0
1275	680	0	7	135	31	9	0	2	4	15	2	11	1	0
1265	690	1	15	159	42	17	0	1	0	17	0	19	4	0
1255	700	1	13	186	50	18	0	2	0	36	4	6	1	0
1245	710	0	5	121	33	10	0	2	0	19	1	14	2	1
1235	720	0	2	160	63	9	3	4	1	14	2	9	2	0
1225	730	2	13	197	53	16	1	3	3	30	8	23	2	0
1215	740	0	7	161	50	10	1	3	0	16	1	16	4	0
1205	750	4	4	156	54	11	3	2	1	29	2	18	3	0
1195	760	1	11	182	96	15	3	1	0	29	1	22	1	0
1185	770	2	4	151	51	9	5	2	0	21	1	15	1	0
1175	780	3	10	205	53	17	1	1	0	26	3	24	1	0
1165	790	0	9	136	47	6	1	1	0	20	1	16	1	0
1155	800	3	13	175	52	4	0	1	1	21	2	6	1	0
1145	810	5	16	140	43	11	1	5	1	18	0	9	2	0
1135	820	1	25	182	39	13	0	1	1	37	2	14	1	0
1125	830	1	18	168	32	13	0	3	0	17	2	14	0	0
1115	840	3	15	166	33	10	0	0	0	22	1	10	1	1
1105	850	0	8	165	23	9	2	1	0	16	3	11	0	0
1095	860	2	3	200	38	14	0	1	1	12	2	4	1	0
1085	870	4	3	162	58	11	4	1	1	20	2	9	0	0
1075	880	0	13	148	51	6	0	0	2	14	2	4	0	1
1065	890	0	11	170	39	13	1	0	0	27	0	8	0	0
1055	900	0	9	152	50	7	3	1	0	30	2	10	0	0
1045	910	1	10	148	34	9	2	7	2	18	6	12	0	0
1035	920	2	16	166	73	11	0	2	3	20	1	19	0	0
1025	930	2	5	177	55	9	1	4	3	17	3	17	2	0
1015	940	3	10	146	52	8	2	0	0	14	3	14	0	0
1005	950	1	10	148	53	4	1	1	0	24	2	8	2	0

An AD	An BP	Carya	Ostrya/Carpinus	Betula	Fagus	Fraxinus 3c.	Fraxinus 4c.	Juglans cinera	Populus	Quercus	Tilia	Ulmus	Platanus	Castanea
995	960	0	12	107	50	19	0	1	1	27	3	19	0	0
985	970	4	11	120	54	11	1	4	0	15	2	14	2	0
975	980	0	8	125	52	9	2	1	0	23	1	21	3	0
965	990	2	13	122	49	9	4	0	2	29	0	21	1	0
955	1000	0	11	104	35	10	2	0	1	23	0	16	0	0
945	1010	0	6	133	53	4	2	0	2	17	2	20	3	0
935	1020	3	5	146	60	19	1	1	0	11	3	14	0	0
925	1030	0	12	135	49	9	4	0	0	18	0	19	1	0
915	1040	1	6	146	67	11	1	0	1	21	1	24	2	0
905	1050	3	18	112	57	7	0	2	2	33	1	19	0	0
895	1060	0	6	126	72	14	1	1	1	20	2	20	3	0
885	1070	1	11	109	59	8	2	1	0	19	1	14	1	0
875	1080	2	10	110	49	8	0	2	1	15	4	17	3	0
865	1090	2	10	118	49	9	0	0	0	13	2	15	0	0
855	1100	1	10	150	52	8	3	0	0	21	3	19	0	0
845	1110	3	7	141	49	7	3	2	0	20	1	27	0	0
835	1120	3	7	120	41	8	2	1	0	28	1	20	0	0
825	1130	2	4	111	50	3	3	2	1	30	2	25	2	0
815	1140	3	4	146	45	16	1	0	1	17	3	24	1	0
805	1150	2	6	128	61	15	1	1	0	18	3	12	4	0
795	1160	6	12	194	64	15	0	2	1	26	4	22	2	0
785	1170	1	8	154	49	7	3	0	0	34	0	18	0	0
775	1180	1	16	160	57	8	0	1	1	21	0	19	0	0
765	1190	2	12	165	60	10	2	0	0	18	3	18	3	0
755	1200	1	14	157	40	10	1	0	28	0	0	19	0	0
745	1210	1	12	158	38	8	0	1	2	15	4	13	0	0
735	1220	2	13	138	40	14	2	2	0	18	3	16	0	0
725	1230	0	7	180	59	22	3	1	1	32	4	14	0	0
715	1240	3	12	161	40	7	3	2	0	20	0	15	1	0
705	1250	1	15	165	33	8	1	1	0	21	2	16	1	0
695	1260	0	12	235	31	9	0	3	1	14	3	9	0	0
685	1270	2	7	173	31	8	1	2	0	12	0	12	0	0
675	1280	1	11	172	30	3	0	1	1	28	4	11	0	0
665	1290	1	11	163	23	9	1	4	0	18	2	17	3	1

---

An AD	An BP	Carya	Ostrya/Carpinus	Betula	Fagus	Fraxinus 3c.	Fraxinus 4c.	Juglans cinera	Populus	Quercus	Tilia	Ulmus	Platanus	Castanea
655	1300	2	9	163	36	9	1	1	3	21	0	17	0	1
645	1310	1	8	162	42	15	1	1	1	20	0	20	0	0
635	1320	1	13	166	33	15	4	3	0	13	2	14	1	0
625	1330	1	12	155	54	11	2	1	0	28	1	15	0	0
615	1340	2	18	172	40	10	2	0	1	17	3	25	1	0

---

An AD	An BP	Liquidambar/ Altingiaceae	Alnus crispa	Alnus rugosa	Alnus indiff.	Corylus	Myrica	Salix	Ulmaceae/Celtis	Moraceae	Cephalantus/ Rubiaceae Shepherdia/ Elaeagnaceae	Nyssaceae	Grossulariaceae
2005	-50	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0
1995	-40	0	0	0	14	2	0	2	0	1	0	0	0
1965	-10	0	4	0	7	4	2	2	0	0	1	0	0
1955	0	0	0	0	9	4	3	0	0	0	0	0	0
1945	10	0	1	0	8	5	4	7	0	0	0	0	0
1935	20	0	10	0	4	0	4	5	0	0	0	0	0
1925	30	0	0	0	13	5	3	4	0	0	0	0	0
1915	40	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
1905	50	1	1	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0
1895	60	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
1885	70	0	0	0	7	0	3	1	0	0	0	0	0
1875	80	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0
1865	90	0	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0
1855	100	0	1	5	0	1	3	0	0	0	0	0	0
1845	110	0	0	0	2	1	4	0	1	0	0	0	0
1835	120	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0
1825	130	0	2	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0
1815	140	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
1805	150	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1795	160	0	5	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0
1785	170	0	0	0	5	3	1	2	2	0	0	0	0
1775	180	0	1	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0
1765	190	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0
1755	200	0	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
1745	210	0	0	0	9	3	2	2	0	0	0	0	0
1735	220	0	1	0	4	0	1	1	0	0	1	1	0
1725	230	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1715	240	0	0	0	10	1	4	0	0	1	0	0	0
1705	250	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1695	260	0	0	0	12	2	0	2	0	0	0	0	0
1685	270	0	8	0	6	2	1	4	0	0	0	0	0
1675	280	0	0	0	3	1	3	2	0	0	0	0	0
1665	290	0	6	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0
1655	300	0	0	0	18	2	5	3	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Liquidambar/ Altingiaceae	Alnus crispa	Alnus rugosa	Alnus indiff.	Corylus	Myrica	Salix	Ulmaceae/Celtis	Moraceae	Cephalantus/ Rubiaceae	Shepherdia/ Elaeagnaceae	Nyssaceae	Grossulariaceae
1645	310	0	3	0	7	1	2	0	0	1	0	0	0	0
1635	320	0	1	0	7	4	0	1	0	2	0	0	1	0
1625	330	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0
1615	340	0	0	0	3	2	0	2	1	0	0	0	0	0
1605	350	0	1	0	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0
1595	360	0	6	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1585	370	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1575	380	0	3	0	5	1	3	4	0	0	0	0	0	0
1565	390	0	4	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1555	400	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1545	410	0	0	0	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1535	420	0	0	0	7	3	3	0	0	0	0	0	0	0
1525	430	0	0	1	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1515	440	0	0	0	7	5	4	1	0	0	0	0	0	0
1505	450	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1495	460	0	12	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1485	470	0	0	0	10	1	0	0	0	0	0	0	1	0
1475	480	0	4	0	6	0	5	1	1	0	0	0	0	0
1465	490	0	1	0	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0
1455	500	0	0	0	10	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1445	510	0	0	0	13	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1435	520	0	0	0	14	6	2	3	0	0	0	0	0	0
1425	530	0	0	0	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0
1415	540	0	6	0	7	1	1	5	0	0	0	0	0	0
1405	550	0	3	0	7	2	2	7	0	0	0	0	0	0
1395	560	0	11	0	8	1	2	4	0	0	0	0	0	0
1385	570	0	0	0	17	1	2	1	0	0	0	0	0	0
1375	580	0	0	0	10	2	0	2	0	1	0	0	0	0
1365	590	0	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1355	600	0	0	0	10	2	1	3	0	2	0	0	0	0
1345	610	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1335	620	1	0	0	11	4	3	1	0	0	0	0	0	0
1325	630	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1315	640	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Liquidambar/ Altingiaceae	Alnus crispa	Alnus rugosa	Alnus indiff.	Corylus	Myrica	Salix	Ulmaceae/Celtis	Moraceae	Cephalantus/ Rubiaceae	Shepherdia/ Elaeagnaceae	Nyssaceae	Grossulariaceae
1305	650	0	0	0	2	7	4	1	1	0	0	0	1	0
1295	660	0	0	0	7	2	0	1	0	0	0	0	0	1
1285	670	0	2	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1275	680	0	6	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1265	690	0	0	0	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1255	700	0	0	0	6	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1245	710	0	4	0	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0
1235	720	0	2	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0
1225	730	0	3	0	7	1	4	1	0	0	0	0	0	0
1215	740	0	1	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1205	750	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0	0	0
1195	760	0	4	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0
1185	770	0	0	0	6	1	4	0	0	0	0	0	0	0
1175	780	0	7	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1165	790	0	1	0	4	0	5	1	0	0	0	0	0	0
1155	800	0	0	0	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1145	810	0	0	0	6	0	2	1	0	0	0	0	0	0
1135	820	0	3	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1125	830	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1115	840	0	0	0	3	1	2	0	0	0	0	1	0	0
1105	850	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1095	860	0	3	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1085	870	0	1	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0
1075	880	0	0	0	4	2	0	0	0	1	0	0	0	0
1065	890	0	3	0	6	0	1	1	0	1	0	0	0	0
1055	900	0	0	0	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1045	910	0	0	0	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1035	920	0	5	0	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0
1025	930	0	0	0	9	0	5	1	0	0	0	0	0	0
1015	940	0	0	0	5	2	1	1	0	1	0	0	0	0
1005	950	0	0	0	7	1	1	2	0	0	0	0	0	0
995	960	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
985	970	0	0	0	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0
975	980	0	0	0	11	0	3	1	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Liquidambar/ Altingiaceae	Alnus crispa	Alnus rugosa	Alnus indiff.	Corylus	Myrica	Salix	Ulmaceae/Celtis	Moraceae	Cephalantus/ Rubiaceae	Shepherdia/ Elaeagnaceae	Nyssaceae	Grossulariaceae
965	990	0	1	0	4	0	6	0	0	1	0	0	0	0
955	1000	0	2	0	6	0	1	0	0	1	0	0	0	0
945	1010	0	0	0	8	2	4	0	0	1	0	0	0	0
935	1020	0	4	3	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0
925	1030	0	0	0	7	3	4	1	0	0	1	1	0	0
915	1040	0	1	0	10	0	2	0	0	0	0	0	0	0
905	1050	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
895	1060	0	1	0	7	0	0	1	0	0	0	1	0	0
885	1070	0	0	0	11	3	0	1	0	0	0	0	0	0
875	1080	0	4	2	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0
865	1090	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
855	1100	0	0	0	6	1	3	0	1	0	0	0	0	0
845	1110	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
835	1120	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
825	1130	0	0	0	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0
815	1140	0	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0
805	1150	0	0	0	1	3	2	0	0	1	0	0	0	0
795	1160	0	2	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0
785	1170	0	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0
775	1180	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
765	1190	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
755	1200	0	4	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0
745	1210	0	3	0	3	1	2	0	0	3	0	0	0	0
735	1220	0	0	0	8	1	2	0	0	1	0	0	0	0
725	1230	0	2	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
715	1240	0	0	0	6	2	3	2	0	0	0	0	0	0
705	1250	0	3	0	1	1	5	0	0	0	0	0	0	0
695	1260	0	2	0	1	2	3	1	0	1	0	0	0	0
685	1270	0	0	0	5	1	4	0	0	1	0	0	0	0
675	1280	0	2	0	6	0	2	0	0	0	0	1	0	0
665	1290	0	0	0	7	1	0	2	0	0	0	0	0	0
655	1300	0	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
645	1310	0	3	0	3	1	2	2	0	0	0	0	0	0
635	1320	0	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Liquidambar/ Altingiaceae	Alnus crispa	Alnus rugosa	Alnus indiff.	Corylus	Myrica	Salix	Ulmaceae/Celtis	Moraceae	Cephalantus/ Rubiaceae Sheperdia/ Elaeagnaceae	Nyssaceae	Grossulariaceae
625	1330	0	1	0	3	4	3	1	0	0	0	0	0
615	1340	0	0	0	6	3	5	1	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Sarcobataceae	Asteraceae-Tubul	Asteraceae- Ligul	Artemisia	Ambrosia	Cyperaceae	Gramineae	Zea Mays	Caprifoliaceae	Caryophyllaceae	Chenopodiaceae	Cornaceae	Ericaceae
2005	-50	0	2	0	0	16	0	3	0	0	0	1	1	0
1995	-40	0	2	2	0	22	3	7	3	0	0	5	0	0
1965	-10	0	2	0	0	50	1	9	2	0	0	6	0	0
1955	0	0	3	0	1	29	0	7	0	0	0	1	0	0
1945	10	0	2	0	1	27	1	2	0	0	0	2	0	0
1935	20	0	0	0	3	28	0	6	0	2	0	1	0	0
1925	30	0	1	0	0	21	0	13	2	1	0	5	0	0
1915	40	0	2	0	0	32	1	6	0	0	0	3	0	0
1905	50	0	1	0	0	23	0	6	0	0	0	0	0	3
1895	60	0	0	0	1	12	1	3	0	0	0	0	0	0
1885	70	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
1875	80	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0
1865	90	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	0
1855	100	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1845	110	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
1835	120	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
1825	130	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1815	140	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1805	150	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1795	160	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1785	170	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1775	180	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1765	190	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
1755	200	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1745	210	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
1735	220	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1725	230	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1715	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1705	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1695	260	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1685	270	0	0	0	0	4	0	3	0	1	0	0	0	0
1675	280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1665	290	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Sarcobataceae	Asteraceae-Tubul	Asteraceae-Ligul	Artemisia	Ambrosia	Cyperaceae	Gramineae	Zea Mays	Caprifoliaceae	Caryophyllaceae	Chenopodiaceae	Cornaceae	Ericaceae
1655	300	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1
1645	310	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1635	320	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0
1625	330	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1615	340	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1605	350	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
1595	360	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0
1585	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1575	380	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
1565	390	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1555	400	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1545	410	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1535	420	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1525	430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1515	440	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1505	450	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1495	460	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1485	470	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1475	480	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
1465	490	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1455	500	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1445	510	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1435	520	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1425	530	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1415	540	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
1405	550	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1395	560	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
1385	570	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0
1375	580	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1365	590	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0
1355	600	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1345	610	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1335	620	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1325	630	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sarcobataceae	Asteraceae-Tubul	Asteraceae- Ligul	Artemisia	Ambrosia	Cyperaceae	Gramineae	Zea Mays	Capriofoliaceae	Caryophyllaceae	Chenopodiaceae	Cornaceae	Ericaceae
1315	640	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1305	650	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1295	660	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1285	670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1275	680	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1265	690	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1255	700	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1245	710	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1235	720	0	2		1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
1225	730	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
1215	740	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1205	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1195	760	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
1185	770	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1175	780	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1165	790	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1155	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1145	810	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1135	820	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
1125	830	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1115	840	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1105	850	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1095	860	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1085	870	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1075	880	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1065	890	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1055	900	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1045	910	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1035	920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1025	930	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1015	940	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	950	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0
995	960	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
985	970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sarcobataceae	Asteraceae-Tubul	Asteraceae-Ligul	Artemisia	Ambrosia	Cyperaceae	Gramineae	Zea Mays	Caprifoliaceae	Caryophyllaceae	Chenopodiaceae	Cornaceae	Ericaceae
975	980	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
965	990	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
955	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
945	1010	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
935	1020	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0
925	1030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
915	1040	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
905	1050	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
895	1060	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
885	1070	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
875	1080	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
865	1090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
855	1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
845	1110	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
835	1120	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
825	1130	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
815	1140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805	1150	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
795	1160	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
785	1170	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
775	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
765	1190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
755	1200	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
745	1210	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	1
735	1220	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
725	1230	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
715	1240	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
705	1250	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
695	1260	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
685	1270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
675	1280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
665	1290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
655	1300	0	0	0	1	3	0	2	0	0	0	1	0	0
645	1310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

<b>An AD</b>	<b>An BP</b>	<b>Sarcobataceae</b>	<b>Asteraceae-Tubul</b>	<b>Asteraceae- Ligul</b>	<b>Artemisia</b>	<b>Ambrosia</b>	<b>Cyperaceae</b>	<b>Gramineae</b>	<b>Zea Mays</b>	<b>Capriofoliaceae</b>	<b>Caryophyllaceae</b>	<b>Chenopodiaceae</b>	<b>Cornaceae</b>	<b>Ericaceae</b>
635	1320	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
625	1330	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
615	1340	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0

---

---

An AD	An BP	Humulus	Labiatae	Plantaginaceae	Polygonaceae	Thalictrum	Rumex	Rosaceae	Asteraceae	Ephedraceae	Cruciferae	Cornaceae	Arceuthobium	Urticaceae
2005	-50	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1995	-40	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1965	-10	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
1945	10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
1935	20	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
1925	30	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1915	40	0	0	0	1	0	7	0	0	0	0	0	0	0
1905	50	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1895	60	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
1885	70	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0
1875	80	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1865	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1855	100	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1845	110	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1835	120	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1825	130	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1815	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1805	150	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1795	160	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1785	170	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1775	180	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1765	190	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1755	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1745	210	1	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0
1735	220	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1725	230	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1715	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1705	250	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1695	260	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1685	270	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1675	280	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1665	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Humulus	Labiatae	Plantaginaceae	Polygonaceae	Thalictrum	Rumex	Rosaceae	Asteraceae	Ephedraceae	Cruciferae	Cornaceae	Arceuthobium	Urticaceae
1655	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1645	310	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1635	320	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1625	330	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
1615	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1605	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1595	360	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
1585	370	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1575	380	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1565	390	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1555	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1545	410	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1535	420	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1525	430	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1515	440	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1505	450	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1495	460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1485	470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1475	480	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1465	490	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1455	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1445	510	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1435	520	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1425	530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1415	540	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1405	550	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1395	560	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1385	570	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1375	580	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1365	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1355	600	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1345	610	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1335	620	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1325	630	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1315	640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Humulus	Labiatae	Plantaginaceae	Polygonaceae	Thalictrum	Rumex	Rosaceae	Asteraceae	Ephedraceae	Cruciferae	Cornaceae	Arceuthobium	Urticaceae
1305	650	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1295	660	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1285	670	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1275	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1265	690	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1255	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1245	710	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1235	720	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1225	730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1215	740	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1205	750	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1195	760	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1185	770	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1175	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1165	790	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1155	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1145	810	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1135	820	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1125	830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1115	840	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1105	850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1095	860	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1085	870	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1075	880	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1065	890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1055	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1045	910	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1035	920	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1025	930	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1015	940	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	950	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
995	960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
985	970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
975	980	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	990	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

---

An AD	An BP	Humulus	Labiatae	Plantaginaceae	Polygonaceae	Thalictrum	Rumex	Rosaceae	Asteraceae	Ephedraceae	Cruciferae	Cornaceae	Arceuthobium	Urticaceae
955	1000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
945	1010	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
935	1020	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
925	1030	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
915	1040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
905	1050	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
895	1060	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
885	1070	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
875	1080	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
865	1090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
855	1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
845	1110	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
835	1120	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
825	1130	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
815	1140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805	1150	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
795	1160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
785	1170	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
775	1180	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
765	1190	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
755	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
745	1210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
735	1220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
725	1230	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
715	1240	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
705	1250	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
695	1260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
685	1270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
675	1280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
665	1290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
655	1300	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
645	1310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
635	1320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
625	1330	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
615	1340	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

---

An AD	An BP	Plantaginaceae	Xanthium	Ranunculaceae	Loranthaceae	Frankeniaceae	Linaceae	Saxifragaceae	Aster Type	Epilobium/ Onagraceae	Rubiaceae	Lamiaceae	Aquifoliaceae	Equisetaceae
2005	-50	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	-10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1935	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1925	30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1915	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1905	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1895	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1885	70	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1875	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1865	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1855	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1845	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1835	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1825	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1815	140	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1805	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1795	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1785	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1775	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1765	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1755	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1745	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1735	220	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1725	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1715	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1705	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1695	260	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1685	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1675	280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1665	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Plantaginaceae	Xanthium	Ranunculaceae	Loranthaceae	Frankeniaceae	Linaceae	Saxifragaceae	Aster Type	Epilobium/ Onagraceae	Rubiaceae	Lamiaceae	Aquifoliaceae	Equisetaceae
1655	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1645	310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1635	320	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1625	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1615	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1605	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1595	360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1585	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1575	380	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1565	390	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1555	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1545	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1535	420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1525	430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1515	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1505	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1495	460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1485	470	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1475	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1465	490	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1455	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1445	510	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1435	520	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1425	530	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1415	540	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1405	550	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
1395	560	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1385	570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1375	580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1365	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1355	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1345	610	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1335	620	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1325	630	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1315	640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Plantaginaceae	Xanthium	Ranunculaceae	Loranthaceae	Frankeniaceae	Linaceae	Saxifragaceae	Aster Type	Epilobium/ Onagraceae	Rubiaceae	Lamiaceae	Aquifoliaceae	Equisetaceae
1305	650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1295	660	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1285	670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1275	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1265	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1255	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1245	710	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1235	720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1225	730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1215	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1205	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1195	760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1185	770	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1175	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1165	790	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1155	800	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1145	810	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1135	820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1125	830	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1115	840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1105	850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1095	860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1085	870	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1075	880	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1065	890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1055	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1045	910	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1035	920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1025	930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1015	940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
995	960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
985	970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
975	980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	990	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Plantaginaceae	Xanthium	Ranunculaceae	Loranthaceae	Frankeniaceae	Linaceae	Saxifragaceae	Aster Type	Epilobium/ Onagraceae	Rubiaceae	Lamiaceae	Aquifoliaceae	Equisetaceae
955	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
945	1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
935	1020	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
925	1030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
915	1040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
905	1050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
895	1060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
885	1070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
875	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
865	1090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
855	1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
845	1110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
835	1120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
825	1130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
815	1140	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805	1150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
795	1160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
785	1170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
775	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
765	1190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
755	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
745	1210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
735	1220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
725	1230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
715	1240	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
705	1250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
695	1260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
685	1270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
675	1280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
665	1290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
655	1300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
645	1310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
635	1320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
625	1330	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
615	1340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sphagnum	Polypodiaceae	Botrichium	Equisetum	Lycopodium	Pteridium	Osmundacea	Adiantum	Dryopteridaceae	Isoetes	Nymphaea	Potamogeton	Sagittaria
2005	-50	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
1995	-40	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1965	-10	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1945	10	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
1935	20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1925	30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1915	40	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1
1905	50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1895	60	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1885	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1875	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1865	90	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1855	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1845	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1835	120	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
1825	130	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1815	140	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1805	150	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
1795	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1785	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1775	180	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1765	190	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1755	200	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1745	210	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
1735	220	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1
1725	230	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
1715	240	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1705	250	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1695	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1685	270	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1675	280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1665	290	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sphagnum	Polypodiaceae	Botrichium	Equisetum	Lycopodium	Pteridium	Osmundaceae	Adiantum	Dryopteridaceae	Isoetes	Nymphaea	Potamogeton	Sagittaria
1655	300	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1645	310	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1635	320	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1625	330	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1615	340	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1605	350	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1595	360	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1585	370	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1575	380	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1565	390	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1555	400	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1545	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1535	420	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1525	430	0	2	0	1	0	2	0	1	0	0	0	2	1
1515	440	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
1505	450	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1495	460	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1485	470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1475	480	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1465	490	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1455	500	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1445	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1435	520	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1425	530	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0
1415	540	0	0	0	0	6	2	0	0	1	0	0	0	0
1405	550	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1
1395	560	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1385	570	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1375	580	1	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1365	590	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
1355	600	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1345	610	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1335	620	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1325	630	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Sphagnum	Polypodiaceae	Botrichium	Equisetum	Lycopodium	Pteridium	Osmundaceae	Adiantum	Dryopteridaceae	Isoetes	Nymphaea	Potamogeton	Sagittaria
1315	640	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1305	650	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1295	660	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1285	670	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1275	680	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1265	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1255	700	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1245	710	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1235	720	0	3	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0
1225	730	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
1215	740	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
1205	750	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1195	760	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1185	770	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1175	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1165	790	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1155	800	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1145	810	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1135	820	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1125	830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1115	840	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1105	850	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1095	860	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1085	870	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1075	880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1065	890	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0
1055	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1045	910	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1035	920	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1025	930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1015	940	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	950	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
995	960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
985	970	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---

An AD	An BP	Sphagnum	Polypodiaceae	Botrichium	Equisetum	Lycopodium	Pteridium	Osmundaceae	Adiantum	Dryopteridaceae	Isoetes	Nymphaea	Potamogeton	Sagittaria
975	980	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	990	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
955	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
945	1010	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
935	1020	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
925	1030	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
915	1040	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
905	1050	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
895	1060	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
885	1070	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
875	1080	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
865	1090	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
855	1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
845	1110	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
835	1120	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
825	1130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
815	1140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805	1150	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
795	1160	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
785	1170	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
775	1180	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0
765	1190	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
755	1200	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
745	1210	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
735	1220	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
725	1230	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
715	1240	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
705	1250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
695	1260	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	1
685	1270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
675	1280	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
665	1290	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
655	1300	0	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
645	1310	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sphagnum	Polypodiaceae	Botrichium	Equisetum	Lycopodium	Pteridium	Osmundacea	Adiantum	Dryopteridaceae	Isoetes	Nymphaea	Potamogeton	Sagittaria
635	1320	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
625	1330	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1
615	1340	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

An AD	An BP	Sparganium	Typhaceae	Brasenia/ Cabombaceae	Lemnaceae	Myriophyllum	Nymphaeaceae	Hydrocharitaceae	Hippuridaceae	Hydrocharitaceae	Non-identifiabes	Inconnus	Somme (aquatiques)	Somme	Exotiques
2005	-50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	1	460	459	88
1995	-40	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	453.5	450.5	61
1965	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	526.5	525.5	71
1955	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	7	0	477.5	475.5	58
1945	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	470.5	469.5	60
1935	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	498.5	497.5	111
1925	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	417	417	78
1915	40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	605	603	88
1905	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	582.5	582.5	67
1895	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	470.5	469.5	106
1885	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	524	524	55
1875	80	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	522.5	520.5	56
1865	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	455.5	455.5	81
1855	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	464	464	85
1845	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	463	463	60
1835	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	594.5	594.5	67
1825	130	2	0	0	0	1	0	0	0	0	8	1	591	588	73
1815	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	506.5	506.5	71
1805	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	537.5	537.5	69
1795	160	0	0	0	1	0	0	0	0	0	11	1	553	552	85
1785	170	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	455.5	453.5	40
1775	180	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	502.5	500.5	54
1765	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	490.5	490.5	53
1755	200	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	487	486	63
1745	210	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	492	490	54
1735	220	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	2	511.5	508.5	35
1725	230	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	579.5	577.5	52
1715	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	513.5	513.5	57
1705	250	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	534	533	77
1695	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	481.5	481.5	75
1685	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	602	602	84

An AD	An BP	Sparganium	Typhaceae	Brasenia/ Cabombaceae	Lemnaceae	Myriophyllum	Nymphaeaceae	Hydrocharitaceae	Hippuridaceae	Hydrocharitaceae	Non-identifiabes	Inconnus	Somme (aquatiques)	Somme	Exotiques
1675	280	1	0	0	0	1	0	0	0	0	7	0	501	499	53
1665	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	477	477	63
1655	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	538	538	57
1645	310	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	555.5	554.5	73
1635	320	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	0	447.5	445.5	72
1625	330	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	509.5	507.5	53
1615	340	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	559	558	36
1605	350	0	0	0	0	1	0	0	0	0	13	1	536.5	535.5	81
1595	360	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	715	713	64
1585	370	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	466	465	52
1575	380	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	576.5	575.5	54
1565	390	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	522.5	522.5	54
1555	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	501.5	501.5	37
1545	410	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	468	467	58
1535	420	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	445	443	56
1525	430	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0	682.5	678.5	83
1515	440	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	504	503	71
1505	450	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10	1	501	500	53
1495	460	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	411.5	410.5	58
1485	470	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	494.5	493.5	56
1475	480	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	1	440	439	68
1465	490	0	0	0	1	1	0	0	0	0	11	0	502.5	500.5	56
1455	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	484.5	484.5	59
1445	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	439	439	53
1435	520	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9	0	466.5	465.5	37
1425	530	0	0	0	0	0	0	1	0	0	14	0	412.5	409.5	37
1415	540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	638	638	104
1405	550	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	477	475	69
1395	560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	375.5	375.5	95
1385	570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	376	376	115
1375	580	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	2	429.5	428.5	80
1365	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	493	493	55
1355	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	496	496	43
1345	610	1	1	0	0	1	0	0	0	0	4	1	532	529	56

An AD	An BP	Sparganium	Typhaceae	Brasenia/ Cabombaceae	Lemnaceae	Myriophyllum	Nymphaeaceae	Hydrocharitaceae	Hippuridaceae	Hydrocharitaceae	Non-identifiabes	Inconnus	Somme (aquatiques)	Somme	Exotiques
1335	620	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	493.5	491.5	48
1325	630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	548	548	42
1315	640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	449.5	448.5	49
1305	650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	505.5	505.5	46
1295	660	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	507	504	43
1285	670	0	0	0	0	0	0	1	0	0	9	0	547.5	545.5	58
1275	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	459.5	459.5	54
1265	690	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	496.5	495.5	60
1255	700	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	587.5	586.5	64
1245	710	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	503.5	503.5	35
1235	720	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	555.5	553.5	61
1225	730	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3	753.5	751.5	83
1215	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	496	495	40
1205	750	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	518	517	50
1195	760	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	761	759	61
1185	770	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	521	521	58
1175	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	667	667	78
1165	790	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	497.5	497.5	33
1155	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	531.5	531.5	48
1145	810	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6	1	540	538	65
1135	820	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	634	632	50
1125	830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	490	489	41
1115	840	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	1	492	491	41
1105	850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	503.5	503.5	40
1095	860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	517.5	517.5	45
1085	870	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	567	567	47
1075	880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	470	470	39
1065	890	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	1	498	494	51
1055	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	456.5	456.5	35
1045	910	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	1	515.5	515.5	54
1035	920	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	2	685.5	684.5	56
1025	930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	578.5	578.5	47
1015	940	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	503	502	35
1005	950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	549	549	42

An AD	An BP	Sparganium	Typhaceae	Brasenia/ Cabombaceae	Lemnaceae	Myriophyllum	Nymphaeaceae	Hydrocharitaceae	Hippuridaceae	Hydrocharitaceae	Non-identifiabes	Inconnus	Somme (aquatiques)	Somme	Exotiques
995	960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	553.5	553.5	50
985	970	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3	1	437.5	435.5	44
975	980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	557	557	48
965	990	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	564	563	35
955	1000	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8	0	440	438	50
945	1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	507	507	43
935	1020	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	1	606.5	605.5	61
925	1030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	555.5	555.5	43
915	1040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	571.5	571.5	45
905	1050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	586.5	586.5	46
895	1060	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	562	561	42
885	1070	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	527	526	45
875	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	550	549	77
865	1090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	515	515	57
855	1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	526	526	35
845	1110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	557.5	557.5	46
835	1120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	456.5	455.5	57
825	1130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	488.5	488.5	50
815	1140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	554.5	554.5	55
805	1150	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	487.5	485.5	51
795	1160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	2	765	764	47
785	1170	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	562	560	36
775	1180	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	585.5	583.5	56
765	1190	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	596.5	595.5	43
755	1200	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11	1	497.5	496.5	40
745	1210	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	0	553	551	37
735	1220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	521.5	521.5	53
725	1230	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	652	650	45
715	1240	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	545	544	47
705	1250	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	2	535	534	36
695	1260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	619	617	56
685	1270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	471	471	31
675	1280	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12	3	538	537	23
665	1290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	478.5	478.5	27

An AD	An BP	Sparganium	Typhaceae	Brasenia/ Cabombaceae	Lemnaceae	Myriophyllum	Nymphaeaceae	Hydrocharitaceae	Hippuridaceae	Hydrocharitaceae	Non-identifiabes	Inconnus	Somme (aquatiques)	Somme	Exotiques
655	1300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	583.5	583.5	46
645	1310	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	553.5	552.5	32
635	1320	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	2	487	486	50
625	1330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	582.5	581.5	37
615	1340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	601.5	601.5	39

**Annexe 2. Reconstitution climatique**

Températures moyennes - juin, juillet, août

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
2005	-50	19.4333	17.6	18	18.3444	3.98368	3.98368	5.95382	6.29781
1995	-40	17.0333	17.6	16.8333	17.1556	4.97198	4.97198	5.23944	5.69413
1965	-10	19.4333	18.2	17.6	18.4111	5.94476	5.94476	6.09403	6.14365
1955	0	17.6	18.5333	17.0333	17.7222	5.42579	5.42579	5.96336	6.1466
1945	10	16.9	17.0333	18.0333	17.3222	4.97187	4.97187	5.35939	6.87928
1935	20	17.9	16.8333	17.0333	17.2556	4.66172	4.66172	4.81777	5.0888
1925	30	17.0333	16.9	17.5333	17.1556	6.62134	6.62134	7.19699	7.53963
1915	40	18.1667	17.7	17	17.6222	5.18832	5.18832	5.47517	5.99763
1905	50	18.5	19.4333	17.7	18.5444	4.01222	4.01222	5.52605	5.64516
1895	60	17.3	17.7	17.2	17.4	5.09545	5.09545	7.29002	7.36028
1885	70	17.7	19.4333	17.2	18.1111	4.05376	4.05376	4.71078	5.03355
1875	80	18.5	18.0333	17.3	17.9444	3.93724	3.93724	4.72346	5.39488
1865	90	17.3	18.5	16.6667	17.4889	4.88465	4.88465	5.56248	5.83256
1855	100	18.5	16.9	17.0333	17.4778	4.09896	4.09896	5.40908	5.91891
1845	110	16.9	17.0333	17.7	17.2111	4.12681	4.12681	5.34997	5.38386
1835	120	17.7	17.0333	18.5	17.7444	4.77507	4.77507	5.19435	5.1989
1825	130	17.6	16.6667	16.9	17.0556	5.30618	5.30618	5.49043	6.31896
1815	140	17.0333	17.7	16.9	17.2111	4.31594	4.31594	4.57187	5.85512
1805	150	17.2	17.7	19.4333	18.1111	4.09382	4.09382	5.92944	6.65526
1795	160	17.2	17.5333	17.0333	17.2556	5.97643	5.97643	6.06488	6.12285
1785	170	17.4	16.9667	16.8333	17.0667	6.08591	6.08591	7.89931	8.18638
1775	180	17.0333	18.5	17.2	17.5778	5.85089	5.85089	5.93466	6.25789
1765	190	17.0333	18.0333	17.7	17.5889	3.3693	3.3693	4.88104	5.14466
1755	200	18.5333	17.0333	16.8333	17.4667	4.45896	4.45896	4.56738	5.25285
1745	210	17.0333	18.0333	16.9	17.3222	3.70525	3.70525	4.08604	4.54218
1735	220	18.5	17.7	17.5333	17.9111	4.87221	4.87221	5.12191	5.50699
1725	230	17.0333	17.5333	18.5333	17.7	4.49495	4.49495	5.01521	5.54564
1715	240	17.0333	16.9	17.5333	17.1556	3.60146	3.60146	5.14708	5.78086
1705	250	17.2	17.0333	17.0333	17.0889	4.6506	4.6506	5.09308	5.4785
1695	260	18.0333	17.0333	17.7	17.5889	4.34198	4.34198	4.76956	5.82164
1685	270	17.6	17.6333	16.7333	17.3222	4.79623	4.79623	4.81233	4.91834
1675	280	16.9	17.0333	16.6667	16.8667	4.77337	4.77337	5.42828	5.841
1665	290	17.2	17.0333	16.9	17.0444	4.34089	4.34089	5.48459	5.80411
1655	300	17.6	17.5333	17.4	17.5111	5.93908	5.93908	6.04765	6.54901
1645	310	17.6	17.0333	19.4333	18.0222	5.39707	5.39707	6.32324	6.41165

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1635	320	17.6333	16.6667	17.6	17.3	3.93707	3.93707	4.29494	5.1099
1625	330	17.7	17.0333	16.9	17.2111	5.25587	5.25587	5.54343	5.60286
1615	340	17.0333	17.2	16.9	17.0444	5.05413	5.05413	5.74696	6.44977
1605	350	18.5	17.7	17.7	17.9667	3.50586	3.50586	4.67054	5.29383
1595	360	17.5333	17.7	17.0333	17.4222	4.23477	4.23477	4.6587	5.25446
1585	370	17.0333	16.9	17.5333	17.1556	4.89647	4.89647	5.88975	6.5983
1575	380	17.5333	16.9	17.7	17.3778	4.87055	4.87055	5.18849	5.7982
1565	390	17.0333	17.2	18.5	17.5778	5.19105	5.19105	5.79496	6.77888
1555	400	17.0333	18.5	17.2	17.5778	5.45117	5.45117	6.28485	6.28982
1545	410	17.7	18.0333	18.5333	18.0889	2.89871	2.89871	3.77227	4.54128
1535	420	17.5333	17.0333	17.7	17.4222	5.68539	5.68539	6.20539	6.79527
1525	430	17.0333	18.5	17.6	17.7111	7.05193	7.05193	7.38961	7.84553
1515	440	17.7	18.0333	17.0333	17.5889	5.00783	5.00783	5.77218	5.97859
1505	450	17.0333	17.7	18.0333	17.5889	3.37088	3.37088	4.80694	5.9671
1495	460	17.9	17.2	17.7	17.6	5.04678	5.04678	5.20995	5.58317
1485	470	17.5333	17.0333	19.1333	17.9	5.83403	5.83403	6.63065	7.53685
1475	480	17.7	17.5333	18	17.7444	4.8891	4.8891	5.50762	5.83021
1465	490	17.0333	18.9333	17	17.6556	4.37925	4.37925	4.68975	5.27638
1455	500	17.5333	17.0333	17.7	17.4222	5.41453	5.41453	5.89492	6.59311
1445	510	17.0333	17.4	18.9333	17.7889	4.16697	4.16697	5.1825	5.53812
1435	520	16.8333	16.9	17.9	17.2111	5.972	5.972	6.25881	6.63069
1425	530	17.4	17.9	17	17.4333	3.39108	3.39108	7.21708	7.24529
1415	540	17.4	18.4667	17.0333	17.6333	5.66097	5.66097	6.12536	6.27629
1405	550	17.5333	17.7	19.2	18.1444	4.32817	4.32817	6.54112	6.96685
1395	560	17.5333	16.9	18.0333	17.4889	4.28745	4.28745	7.5168	9.26637
1385	570	17.5333	17.7	18.4667	17.9	4.60022	4.60022	6.74709	7.8759
1375	580	17.5333	18.1667	18.5333	18.0778	5.67937	5.67937	6.83845	6.99547
1365	590	17.2	17	18.1667	17.4556	6.88252	6.88252	7.4352	7.51273
1355	600	18.1667	18.0333	19.1333	18.4444	6.17156	6.17156	6.25202	6.28021
1345	610	17	18.1667	17.2	17.4556	5.40376	5.40376	5.90069	6.60642
1335	620	18.1667	17	17	17.3889	7.96646	7.96646	8.82815	9.1135
1325	630	18.1667	17.7	17	17.6222	4.65441	4.65441	5.28344	5.46655
1315	640	17.4	17	17	17.1333	6.21746	6.21746	6.81039	6.87085
1305	650	18.0333	17.4	17	17.4778	8.14652	8.14652	8.17315	8.69119
1295	660	17	17	18.0333	17.3444	4.79418	4.79418	4.92075	5.44339
1285	670	19.1333	18.0333	18.5333	18.5667	4.96694	4.96694	5.15938	5.24572
1275	680	17	17	17	17	4.77989	4.77989	5.21227	5.33607

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1265	690	17	17.4	18.5333	17.6444	6.887	6.887	7.50761	8.57772
1255	700	18.0333	18.8333	19.1333	18.6667	5.11306	5.11306	5.25808	5.65046
1245	710	18.1667	17.2	17.7	17.6889	6.97969	6.97969	7.23188	7.27175
1235	720	17.8333	17	18.7667	17.8667	6.63021	6.63021	6.89478	7.53693
1225	730	17.5333	18.7667	17.2	17.8333	5.45737	5.45737	5.96954	5.98015
1215	740	17.4	17	17.8333	17.4111	7.38537	7.38537	7.50634	8.75355
1205	750	17	18.7667	18.5333	18.1	5.50482	5.50482	5.56268	6.00147
1195	760	17.8333	19.1333	18.1667	18.3778	4.9043	4.9043	5.75642	6.03438
1185	770	19.1333	18.7667	17.7	18.5333	3.87743	3.87743	5.88791	5.93911
1175	780	17.7	17.5333	18.1667	17.8	5.6683	5.6683	5.75567	5.81957
1165	790	17.7	17.5333	17.2	17.4778	6.39863	6.39863	6.79909	6.8956
1155	800	17	18.1667	17	17.3889	4.34313	4.34313	5.49797	5.59898
1145	810	17.7	18.1667	17.7	17.8556	5.6424	5.6424	6.21803	6.53877
1135	820	17.2	18.8333	18.5	18.1778	4.0848	4.0848	5.86188	6.24384
1125	830	17.2	18.5333	17	17.5778	6.61264	6.61264	7.60758	7.74311
1115	840	17.7	17	17.2	17.3	5.82733	5.82733	5.91861	5.98134
1105	850	17.2	17.7	18.0333	17.6444	4.84097	4.84097	5.58195	6.14136
1095	860	17	17	18.0667	17.3556	4.3574	4.3574	5.00377	5.00875
1085	870	17	18.1667	18.0333	17.7333	5.03654	5.03654	5.96282	6.14249
1075	880	18.1667	17	17	17.3889	3.79389	3.79389	4.58512	5.58228
1065	890	17.2	18.3667	18.5333	18.0333	5.90991	5.90991	6.3641	6.66445
1055	900	17.4	17.2	18.5333	17.7111	5.06021	5.06021	6.53584	6.59581
1045	910	17.4	17.2	17	17.2	5.78048	5.78048	6.76673	6.95214
1035	920	18.1667	17.7	17	17.6222	6.06465	6.06465	6.47619	7.08315
1025	930	17	18.7667	17.4	17.7222	5.76629	5.76629	5.98424	5.98873
1015	940	18.1667	17	17	17.3889	5.7424	5.7424	5.99305	6.22472
1005	950	18.1667	18.8333	17	18	5.61576	5.61576	6.22001	6.44573
995	960	18.1667	17.8333	19.1333	18.3778	6.85017	6.85017	7.74284	7.9205
985	970	19.1333	16.9333	17	17.6889	5.74234	5.74234	6.24757	6.458
975	980	17.8333	17.5333	18.0333	17.8	6.66201	6.66201	7.69056	8.67656
965	990	17.7	18.1667	17.7	17.8556	6.65397	6.65397	7.30297	7.54015
955	1000	17.2	18.1667	17.7	17.6889	6.57103	6.57103	7.6676	7.87774
945	1010	17	18.1667	17.8333	17.6667	6.94372	6.94372	7.23233	7.84434
935	1020	18.1667	17.8333	18.0333	18.0111	5.61308	5.61308	5.66602	5.75455
925	1030	17.7	18.1667	17.2	17.6889	7.83399	7.83399	7.95531	8.63568
915	1040	17	17.8333	17.5333	17.4556	7.55036	7.55036	7.85443	9.50719
905	1050	17.8333	18.1667	17.2	17.7333	7.1354	7.1354	7.57927	8.16691

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
895	1060	17.8333	17	19.6	18.1444	5.42455	5.42455	7.87562	8.19272
885	1070	18.1667	17.5333	17.8333	17.8444	8.1028	8.1028	8.4977	9.23639
875	1080	18.1667	17.7	17.5333	17.8	5.71526	5.71526	7.27901	7.79299
865	1090	18.1667	17.7	17.5333	17.8	4.68222	4.68222	6.02493	7.17124
855	1100	18.1667	17.7	19.1333	18.3333	5.8513	5.8513	6.15716	6.61512
845	1110	17.8333	17	17.2	17.3444	7.74603	7.74603	8.17035	8.33831
835	1120	17	18.8333	18.1667	18	7.87192	7.87192	8.13755	8.33977
825	1130	17.8333	17.5333	17	17.4556	6.94247	6.94247	8.35005	9.04776
815	1140	17	18.1667	17.8333	17.6667	6.22687	6.22687	6.44069	6.79561
805	1150	17.8333	17	19.6	18.1444	6.69917	6.69917	7.25592	7.39866
795	1160	17	18.1667	17.8333	17.6667	6.45476	6.45476	6.73756	6.8094
785	1170	17	17.2	18.8333	17.6778	8.2348	8.2348	8.3458	8.77434
775	1180	17	18.1667	17.7	17.6222	6.11722	6.11722	6.43795	6.93473
765	1190	17	18.1667	17	17.3889	6.3335	6.3335	7.05744	7.96334
755	1200	17	17	18.0667	17.3556	9.72289	9.72289	9.87497	9.95269
745	1210	17.2	18.1667	17.7	17.6889	4.93116	4.93116	5.74169	5.9208
735	1220	18.1667	17.2	17.8333	17.7333	6.26054	6.26054	6.2868	6.94419
725	1230	17.2	17	17.7	17.3	7.89057	7.89057	8.6827	9.07873
715	1240	17.7	18.1667	18.8333	18.2333	6.25897	6.25897	6.4458	6.86822
705	1250	17.2	18.8333	18.1667	18.0667	6.0846	6.0846	6.10687	7.19106
695	1260	17	17.2	18.0333	17.4111	4.67756	4.67756	5.34092	6.0398
685	1270	17.4	17	17	17.1333	5.45664	5.45664	5.57581	5.70368
675	1280	17.2	18.8333	17	17.6778	5.37525	5.37525	5.39055	6.151
665	1290	17.2	17.4	18.3667	17.6556	6.43139	6.43139	7.02244	8.22194
655	1300	18.1667	17.7	17	17.6222	4.66003	4.66003	5.20494	5.4151
645	1310	17.2	17.7	17	17.3	6.68563	6.68563	6.75995	7.36328
635	1320	17.4	18.0333	17.2	17.5444	6.16567	6.16567	7.27727	7.33931
625	1330	17.8333	17	18.5333	17.7889	7.24995	7.24995	7.6234	7.89901
615	1340	17	17	18.1667	17.3889	6.62703	6.62703	6.73224	6.89303

Températures moyennes annuelles

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
2005	-50	7.425	5.49167	5.86667	6.26111	3.98368	3.98368	5.95382	6.29781
1995	-40	4.03333	5.49167	4.33333	4.61944	4.97198	4.97198	5.23944	5.69413
1965	-10	7.425	5.95	5.49167	6.28889	5.94476	5.94476	6.09403	6.14365
1955	0	5.49167	5.31667	4.03333	4.94722	5.42579	5.42579	5.96336	6.1466
1945	10	4.33333	4.03333	5.90833	4.75833	4.97187	4.97187	5.35939	6.87928
1935	20	5.75833	4.33333	4.03333	4.70833	4.66172	4.66172	4.81777	5.0888
1925	30	4.03333	4.33333	5.4	4.58889	6.62134	6.62134	7.19699	7.53963
1915	40	6.04167	5.60833	4.65	5.43333	5.18832	5.18832	5.47517	5.99763
1905	50	6.33333	7.425	5.60833	6.45556	4.01222	4.01222	5.52605	5.64516
1895	60	5.24167	5.60833	5.10833	5.31944	5.09545	5.09545	7.29002	7.36028
1885	70	5.60833	7.425	5.10833	6.04722	4.05376	4.05376	4.71078	5.03355
1875	80	6.33333	5.90833	5.24167	5.82778	3.93724	3.93724	4.72346	5.39488
1865	90	5.24167	6.33333	4.725	5.43333	4.88465	4.88465	5.56248	5.83256
1855	100	6.33333	4.33333	4.03333	4.9	4.09896	4.09896	5.40908	5.91891
1845	110	4.33333	4.03333	5.60833	4.65833	4.12681	4.12681	5.34997	5.38386
1835	120	5.60833	4.03333	6.33333	5.325	4.77507	4.77507	5.19435	5.1989
1825	130	4.65	4.725	4.33333	4.56944	5.30618	5.30618	5.49043	6.31896
1815	140	4.03333	5.60833	4.33333	4.65833	4.31594	4.31594	4.57187	5.85512
1805	150	5.10833	5.60833	7.425	6.04722	4.09382	4.09382	5.92944	6.65526
1795	160	5.10833	5.4	4.03333	4.84722	5.97643	5.97643	6.06488	6.12285
1785	170	3.74167	4.76667	4.33333	4.28056	6.08591	6.08591	7.89931	8.18638
1775	180	4.03333	6.33333	5.10833	5.15833	5.85089	5.85089	5.93466	6.25789
1765	190	4.03333	5.90833	5.60833	5.18333	3.3693	3.3693	4.88104	5.14466
1755	200	5.31667	4.03333	4.33333	4.56111	4.45896	4.45896	4.56738	5.25285
1745	210	4.03333	5.90833	4.33333	4.75833	3.70525	3.70525	4.08604	4.54218
1735	220	6.33333	5.60833	5.4	5.78056	4.87221	4.87221	5.12191	5.50699
1725	230	4.03333	5.4	5.31667	4.91667	4.49495	4.49495	5.01521	5.54564
1715	240	4.03333	4.33333	5.4	4.58889	3.60146	3.60146	5.14708	5.78086
1705	250	5.10833	4.50833	4.03333	4.55	4.6506	4.6506	5.09308	5.4785
1695	260	5.90833	4.03333	5.60833	5.18333	4.34198	4.34198	4.76956	5.82164
1685	270	4.65	5.28333	3.70833	4.54722	4.79623	4.79623	4.81233	4.91834
1675	280	4.33333	4.03333	4.725	4.36389	4.77337	4.77337	5.42828	5.841
1665	290	5.10833	4.50833	4.33333	4.65	4.34089	4.34089	5.48459	5.80411
1655	300	4.65	5.4	4.99167	5.01389	5.93908	5.93908	6.04765	6.54901
1645	310	4.65	4.50833	7.425	5.52778	5.39707	5.39707	6.32324	6.41165

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1635	320	5.28333	4.725	4.65	4.88611	3.93707	3.93707	4.29494	5.1099
1625	330	5.60833	4.03333	4.33333	4.65833	5.25587	5.25587	5.54343	5.60286
1615	340	4.03333	5.10833	4.33333	4.49167	5.05413	5.05413	5.74696	6.44977
1605	350	6.33333	5.60833	5.55	5.83056	3.50586	3.50586	4.67054	5.29383
1595	360	5.4	5.60833	4.03333	5.01389	4.23477	4.23477	4.6587	5.25446
1585	370	4.03333	4.33333	5.4	4.58889	4.89647	4.89647	5.88975	6.5983
1575	380	5.4	4.33333	5.60833	5.11389	4.87055	4.87055	5.18849	5.7982
1565	390	4.03333	5.10833	6.23333	5.125	5.19105	5.19105	5.79496	6.77888
1555	400	4.03333	6.33333	5.10833	5.15833	5.45117	5.45117	6.28485	6.28982
1545	410	5.60833	5.90833	5.26667	5.59444	2.89871	2.89871	3.77227	4.54128
1535	420	5.4	4.03333	5.60833	5.01389	5.68539	5.68539	6.20539	6.79527
1525	430	4.03333	6.33333	5.50833	5.29167	7.05193	7.05193	7.38961	7.84553
1515	440	5.60833	5.90833	4.03333	5.18333	5.00783	5.00783	5.77218	5.97859
1505	450	4.03333	5.60833	5.90833	5.18333	3.37088	3.37088	4.80694	5.9671
1495	460	5.75833	5.10833	5.60833	5.49167	5.04678	5.04678	5.20995	5.58317
1485	470	5.4	4.03333	6.09167	5.175	5.83403	5.83403	6.63065	7.53685
1475	480	5.60833	5.4	5.86667	5.625	4.8891	4.8891	5.50762	5.83021
1465	490	4.03333	5.3	4.65	4.66111	4.37925	4.37925	4.68975	5.27638
1455	500	5.4	4.03333	5.60833	5.01389	5.41453	5.41453	5.89492	6.59311
1445	510	4.03333	3.74167	5.3	4.35833	4.16697	4.16697	5.1825	5.53812
1435	520	4.33333	3.825	5.75833	4.63889	5.972	5.972	6.25881	6.63069
1425	530	3.74167	5.75833	4.65833	4.71944	3.39108	3.39108	7.21708	7.24529
1415	540	3.74167	6.30833	4.03333	4.69444	5.66097	5.66097	6.12536	6.27629
1405	550	5.4	5.60833	6.88333	5.96389	4.32817	4.32817	6.54112	6.96685
1395	560	5.4	3.825	5.90833	5.04444	4.28745	4.28745	7.5168	9.26637
1385	570	5.4	5.55	6.30833	5.75278	4.60022	4.60022	6.74709	7.8759
1375	580	5.4	6.04167	6.49167	5.97778	5.67937	5.67937	6.83845	6.99547
1365	590	5.10833	4.675	6.04167	5.275	6.88252	6.88252	7.4352	7.51273
1355	600	6.04167	4.975	6.09167	5.70278	6.17156	6.17156	6.25202	6.28021
1345	610	4.675	6.04167	5.10833	5.275	5.40376	5.40376	5.90069	6.60642
1335	620	6.04167	4.65833	4.66667	5.12222	7.96646	7.96646	8.82815	9.1135
1325	630	6.04167	5.60833	4.66667	5.43889	4.65441	4.65441	5.28344	5.46655
1315	640	3.74167	4.65833	4.675	4.35833	6.21746	6.21746	6.81039	6.87085
1305	650	4.975	3.74167	4.675	4.46389	8.14652	8.14652	8.17315	8.69119
1295	660	4.675	4.66667	4.975	4.77222	4.79418	4.79418	4.92075	5.44339
1285	670	6.09167	4.975	6.49167	5.85278	4.96694	4.96694	5.15938	5.24572
1275	680	4.65833	4.65	4.65	4.65278	4.77989	4.77989	5.21227	5.33607

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1265	690	4.675	3.74167	6.49167	4.96944	6.887	6.887	7.50761	8.57772
1255	700	4.975	6.60833	6.09167	5.89167	5.11306	5.11306	5.25808	5.65046
1245	710	6.04167	5.10833	5.60833	5.58611	6.97969	6.97969	7.23188	7.27175
1235	720	5.8	4.675	5.525	5.33333	6.63021	6.63021	6.89478	7.53693
1225	730	5.4	5.525	5.10833	5.34444	5.45737	5.45737	5.96954	5.98015
1215	740	3.74167	4.675	5.8	4.73889	7.38537	7.38537	7.50634	8.75355
1205	750	4.675	5.525	6.49167	5.56389	5.50482	5.50482	5.56268	6.00147
1195	760	5.8	6.09167	6.04167	5.97778	4.9043	4.9043	5.75642	6.03438
1185	770	6.09167	5.525	5.60833	5.74167	3.87743	3.87743	5.88791	5.93911
1175	780	5.60833	5.4	6.04167	5.68333	5.6683	5.6683	5.75567	5.81957
1165	790	5.60833	5.4	5.10833	5.37222	6.39863	6.39863	6.79909	6.8956
1155	800	4.675	6.04167	4.65833	5.125	4.34313	4.34313	5.49797	5.59898
1145	810	5.60833	6.04167	5.55	5.73333	5.6424	5.6424	6.21803	6.53877
1135	820	5.10833	6.60833	6.23333	5.98333	4.0848	4.0848	5.86188	6.24384
1125	830	5.10833	6.49167	4.675	5.425	6.61264	6.61264	7.60758	7.74311
1115	840	5.60833	4.675	5.10833	5.13056	5.82733	5.82733	5.91861	5.98134
1105	850	5.10833	5.60833	4.975	5.23056	4.84097	4.84097	5.58195	6.14136
1095	860	4.675	4.675	5.91667	5.08889	4.3574	4.3574	5.00377	5.00875
1085	870	4.675	6.04167	4.975	5.23056	5.03654	5.03654	5.96282	6.14249
1075	880	6.04167	4.675	4.70833	5.14167	3.79389	3.79389	4.58512	5.58228
1065	890	5.10833	6.18333	6.49167	5.92778	5.90991	5.90991	6.3641	6.66445
1055	900	3.74167	5.10833	6.49167	5.11389	5.06021	5.06021	6.53584	6.59581
1045	910	3.74167	5.10833	4.65833	4.50278	5.78048	5.78048	6.76673	6.95214
1035	920	6.04167	5.60833	4.675	5.44167	6.06465	6.06465	6.47619	7.08315
1025	930	4.675	5.525	3.74167	4.64722	5.76629	5.76629	5.98424	5.98873
1015	940	6.04167	4.66667	4.675	5.12778	5.7424	5.7424	5.99305	6.22472
1005	950	6.04167	6.60833	4.675	5.775	5.61576	5.61576	6.22001	6.44573
995	960	6.04167	5.8	6.09167	5.97778	6.85017	6.85017	7.74284	7.9205
985	970	6.09167	4.61667	4.65833	5.12222	5.74234	5.74234	6.24757	6.458
975	980	5.8	5.4	4.975	5.39167	6.66201	6.66201	7.69056	8.67656
965	990	5.55	6.04167	5.60833	5.73333	6.65397	6.65397	7.30297	7.54015
955	1000	5.10833	6.04167	5.60833	5.58611	6.57103	6.57103	7.6676	7.87774
945	1010	4.675	6.04167	5.8	5.50556	6.94372	6.94372	7.23233	7.84434
935	1020	6.04167	5.8	4.975	5.60556	5.61308	5.61308	5.66602	5.75455
925	1030	5.60833	6.04167	5.10833	5.58611	7.83399	7.83399	7.95531	8.63568
915	1040	4.675	5.8	5.4	5.29167	7.55036	7.55036	7.85443	9.50719
905	1050	5.8	6.04167	5.10833	5.65	7.1354	7.1354	7.57927	8.16691

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
895	1060	5.8	4.675	7.75	6.075	5.42455	5.42455	7.87562	8.19272
885	1070	6.04167	5.4	5.8	5.74722	8.1028	8.1028	8.4977	9.23639
875	1080	6.04167	5.60833	5.4	5.68333	5.71526	5.71526	7.27901	7.79299
865	1090	6.04167	5.60833	5.4	5.68333	4.68222	4.68222	6.02493	7.17124
855	1100	6.04167	5.60833	6.09167	5.91389	5.8513	5.8513	6.15716	6.61512
845	1110	5.8	4.675	5.10833	5.19444	7.74603	7.74603	8.17035	8.33831
835	1120	4.675	6.60833	6.04167	5.775	7.87192	7.87192	8.13755	8.33977
825	1130	5.8	5.4	4.675	5.29167	6.94247	6.94247	8.35005	9.04776
815	1140	4.675	6.04167	5.8	5.50556	6.22687	6.22687	6.44069	6.79561
805	1150	5.8	4.675	7.75	6.075	6.69917	6.69917	7.25592	7.39866
795	1160	4.675	6.04167	5.8	5.50556	6.45476	6.45476	6.73756	6.8094
785	1170	4.675	5.10833	6.60833	5.46389	8.2348	8.2348	8.3458	8.77434
775	1180	4.675	6.04167	5.60833	5.44167	6.11722	6.11722	6.43795	6.93473
765	1190	4.675	6.04167	4.66667	5.12778	6.3335	6.3335	7.05744	7.96334
755	1200	4.675	4.65833	5.91667	5.08333	9.72289	9.72289	9.87497	9.95269
745	1210	5.10833	6.04167	5.60833	5.58611	4.93116	4.93116	5.74169	5.9208
735	1220	6.04167	5.10833	5.8	5.65	6.26054	6.26054	6.2868	6.94419
725	1230	5.10833	4.675	5.55	5.11111	7.89057	7.89057	8.6827	9.07873
715	1240	5.60833	6.04167	6.60833	6.08611	6.25897	6.25897	6.4458	6.86822
705	1250	5.10833	6.60833	6.04167	5.91944	6.0846	6.0846	6.10687	7.19106
695	1260	4.65833	5.10833	4.975	4.91389	4.67756	4.67756	5.34092	6.0398
685	1270	3.74167	4.675	4.65833	4.35833	5.45664	5.45664	5.57581	5.70368
675	1280	5.10833	6.60833	4.65833	5.45833	5.37525	5.37525	5.39055	6.151
665	1290	5.10833	3.74167	6.18333	5.01111	6.43139	6.43139	7.02244	8.22194
655	1300	6.04167	5.60833	4.675	5.44167	4.66003	4.66003	5.20494	5.4151
645	1310	5.10833	5.60833	4.675	5.13056	6.68563	6.68563	6.75995	7.36328
635	1320	3.74167	4.975	5.10833	4.60833	6.16567	6.16567	7.27727	7.33931
625	1330	5.8	4.65833	6.49167	5.65	7.24995	7.24995	7.6234	7.89901
615	1340	4.65833	4.66667	6.04167	5.12222	6.62703	6.62703	6.73224	6.89303

Précipitations moyennes annuelles

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance- 1 analogue	Dissemblance- 2 analogues	Dissemblance- 3 analogues
2005	-50	1149	942	930	1007	3.98368	3.98368	5.95382	6.29781
1995	-40	1040	942	1086	1022.67	4.97198	4.97198	5.23944	5.69413
1965	-10	1149	813	942	968	5.94476	5.94476	6.09403	6.14365
1955	0	942	769	1040	917	5.42579	5.42579	5.96336	6.1466
1945	10	1060	1040	927	1009	4.97187	4.97187	5.35939	6.87928
1935	20	925	1086	1040	1017	4.66172	4.66172	4.81777	5.0888
1925	30	1040	1060	793	964.333	6.62134	6.62134	7.19699	7.53963
1915	40	924	942	1015	960.333	5.18832	5.18832	5.47517	5.99763
1905	50	914	1149	942	1001.67	4.01222	4.01222	5.52605	5.64516
1895	60	965	942	823	910	5.09545	5.09545	7.29002	7.36028
1885	70	942	1149	823	971.333	4.05376	4.05376	4.71078	5.03355
1875	80	914	927	965	935.333	3.93724	3.93724	4.72346	5.39488
1865	90	965	914	835	904.667	4.88465	4.88465	5.56248	5.83256
1855	100	914	1060	1040	1004.67	4.09896	4.09896	5.40908	5.91891
1845	110	1060	1040	942	1014	4.12681	4.12681	5.34997	5.38386
1835	120	942	1040	914	965.333	4.77507	4.77507	5.19435	5.1989
1825	130	787	835	1060	894	5.30618	5.30618	5.49043	6.31896
1815	140	1040	942	1060	1014	4.31594	4.31594	4.57187	5.85512
1805	150	823	942	1149	971.333	4.09382	4.09382	5.92944	6.65526
1795	160	823	793	1040	885.333	5.97643	5.97643	6.06488	6.12285
1785	170	1060	947	1086	1031	6.08591	6.08591	7.89931	8.18638
1775	180	1040	914	823	925.667	5.85089	5.85089	5.93466	6.25789
1765	190	1040	927	942	969.667	3.3693	3.3693	4.88104	5.14466
1755	200	769	1040	1086	965	4.45896	4.45896	4.56738	5.25285
1745	210	1040	927	1060	1009	3.70525	3.70525	4.08604	4.54218
1735	220	914	942	793	883	4.87221	4.87221	5.12191	5.50699
1725	230	1040	793	769	867.333	4.49495	4.49495	5.01521	5.54564
1715	240	1040	1060	793	964.333	3.60146	3.60146	5.14708	5.78086
1705	250	823	835	1040	899.333	4.6506	4.6506	5.09308	5.4785
1695	260	927	1040	942	969.667	4.34198	4.34198	4.76956	5.82164
1685	270	787	753	899	813	4.79623	4.79623	4.81233	4.91834
1675	280	1060	1040	835	978.333	4.77337	4.77337	5.42828	5.841
1665	290	823	835	1060	906	4.34089	4.34089	5.48459	5.80411
1655	300	787	793	1047	875.667	5.93908	5.93908	6.04765	6.54901
1645	310	787	835	1149	923.667	5.39707	5.39707	6.32324	6.41165

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1635	320	753	835	787	791.667	3.93707	3.93707	4.29494	5.1099
1625	330	942	1040	1060	1014	5.25587	5.25587	5.54343	5.60286
1615	340	1040	823	1060	974.333	5.05413	5.05413	5.74696	6.44977
1605	350	914	942	938	931.333	3.50586	3.50586	4.67054	5.29383
1595	360	793	942	1040	925	4.23477	4.23477	4.6587	5.25446
1585	370	1040	1060	793	964.333	4.89647	4.89647	5.88975	6.5983
1575	380	793	1060	942	931.667	4.87055	4.87055	5.18849	5.7982
1565	390	1040	823	826	896.333	5.19105	5.19105	5.79496	6.77888
1555	400	1040	914	823	925.667	5.45117	5.45117	6.28485	6.28982
1545	410	942	927	773	880.667	2.89871	2.89871	3.77227	4.54128
1535	420	793	1040	942	925	5.68539	5.68539	6.20539	6.79527
1525	430	1040	914	785	913	7.05193	7.05193	7.38961	7.84553
1515	440	942	927	1040	969.667	5.00783	5.00783	5.77218	5.97859
1505	450	1040	942	927	969.667	3.37088	3.37088	4.80694	5.9671
1495	460	925	823	942	896.667	5.04678	5.04678	5.20995	5.58317
1485	470	793	1040	1077	970	5.83403	5.83403	6.63065	7.53685
1475	480	942	793	930	888.333	4.8891	4.8891	5.50762	5.83021
1465	490	1040	991	1014	1015	4.37925	4.37925	4.68975	5.27638
1455	500	793	1040	942	925	5.41453	5.41453	5.89492	6.59311
1445	510	1040	1060	991	1030.33	4.16697	4.16697	5.1825	5.53812
1435	520	1086	883	925	964.667	5.972	5.972	6.25881	6.63069
1425	530	1060	925	1011	998.667	3.39108	3.39108	7.21708	7.24529
1415	540	1060	957	1040	1019	5.66097	5.66097	6.12536	6.27629
1405	550	793	942	1092	942.333	4.32817	4.32817	6.54112	6.96685
1395	560	793	883	927	867.667	4.28745	4.28745	7.5168	9.26637
1385	570	793	938	957	896	4.60022	4.60022	6.74709	7.8759
1375	580	793	924	1120	945.667	5.67937	5.67937	6.83845	6.99547
1365	590	823	1010	924	919	6.88252	6.88252	7.4352	7.51273
1355	600	924	1140	1077	1047	6.17156	6.17156	6.25202	6.28021
1345	610	1010	924	823	919	5.40376	5.40376	5.90069	6.60642
1335	620	924	1011	1011	982	7.96646	7.96646	8.82815	9.1135
1325	630	924	942	1011	959	4.65441	4.65441	5.28344	5.46655
1315	640	1060	1011	1010	1027	6.21746	6.21746	6.81039	6.87085
1305	650	1140	1060	1010	1070	8.14652	8.14652	8.17315	8.69119
1295	660	1010	1011	1140	1053.67	4.79418	4.79418	4.92075	5.44339
1285	670	1077	1140	1120	1112.33	4.96694	4.96694	5.15938	5.24572
1275	680	1011	1012	1015	1012.67	4.77989	4.77989	5.21227	5.33607

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1265	690	1010	1060	1120	1063.33	6.887	6.887	7.50761	8.57772
1255	700	1140	965	1077	1060.67	5.11306	5.11306	5.25808	5.65046
1245	710	924	823	942	896.333	6.97969	6.97969	7.23188	7.27175
1235	720	777	1010	1040	942.333	6.63021	6.63021	6.89478	7.53693
1225	730	793	1040	823	885.333	5.45737	5.45737	5.96954	5.98015
1215	740	1060	1010	777	949	7.38537	7.38537	7.50634	8.75355
1205	750	1010	1040	1120	1056.67	5.50482	5.50482	5.56268	6.00147
1195	760	777	1077	924	926	4.9043	4.9043	5.75642	6.03438
1185	770	1077	1040	942	1019.67	3.87743	3.87743	5.88791	5.93911
1175	780	942	793	924	886.333	5.6683	5.6683	5.75567	5.81957
1165	790	942	793	823	852.667	6.39863	6.39863	6.79909	6.8956
1155	800	1010	924	1011	981.667	4.34313	4.34313	5.49797	5.59898
1145	810	942	924	938	934.667	5.6424	5.6424	6.21803	6.53877
1135	820	823	965	826	871.333	4.0848	4.0848	5.86188	6.24384
1125	830	823	1120	1010	984.333	6.61264	6.61264	7.60758	7.74311
1115	840	942	1010	823	925	5.82733	5.82733	5.91861	5.98134
1105	850	823	942	1140	968.333	4.84097	4.84097	5.58195	6.14136
1095	860	1010	1009	925	981.333	4.3574	4.3574	5.00377	5.00875
1085	870	1010	924	1140	1024.67	5.03654	5.03654	5.96282	6.14249
1075	880	924	1010	1005	979.667	3.79389	3.79389	4.58512	5.58228
1065	890	823	915	1120	952.667	5.90991	5.90991	6.3641	6.66445
1055	900	1060	953	1120	1044.33	5.06021	5.06021	6.53584	6.59581
1045	910	1060	823	1011	964.667	5.78048	5.78048	6.76673	6.95214
1035	920	924	942	1010	958.667	6.06465	6.06465	6.47619	7.08315
1025	930	1010	1040	1060	1036.67	5.76629	5.76629	5.98424	5.98873
1015	940	924	1011	1010	981.667	5.7424	5.7424	5.99305	6.22472
1005	950	924	965	1010	966.333	5.61576	5.61576	6.22001	6.44573
995	960	924	777	1077	926	6.85017	6.85017	7.74284	7.9205
985	970	1077	1014	1011	1034	5.74234	5.74234	6.24757	6.458
975	980	777	793	1140	903.333	6.66201	6.66201	7.69056	8.67656
965	990	938	924	942	934.667	6.65397	6.65397	7.30297	7.54015
955	1000	823	924	942	896.333	6.57103	6.57103	7.6676	7.87774
945	1010	1010	924	777	903.667	6.94372	6.94372	7.23233	7.84434
935	1020	924	777	1140	947	5.61308	5.61308	5.66602	5.75455
925	1030	942	924	823	896.333	7.83399	7.83399	7.95531	8.63568
915	1040	1010	777	793	860	7.55036	7.55036	7.85443	9.50719
905	1050	777	924	823	841.333	7.1354	7.1354	7.57927	8.16691

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
895	1060	777	1010	1028	938.333	5.42455	5.42455	7.87562	8.19272
885	1070	924	793	777	831.333	8.1028	8.1028	8.4977	9.23639
875	1080	924	942	793	886.333	5.71526	5.71526	7.27901	7.79299
865	1090	924	942	793	886.333	4.68222	4.68222	6.02493	7.17124
855	1100	924	942	1077	981	5.8513	5.8513	6.15716	6.61512
845	1110	777	1010	823	870	7.74603	7.74603	8.17035	8.33831
835	1120	1010	965	924	966.333	7.87192	7.87192	8.13755	8.33977
825	1130	777	793	1010	860	6.94247	6.94247	8.35005	9.04776
815	1140	1010	924	777	903.667	6.22687	6.22687	6.44069	6.79561
805	1150	777	1010	1028	938.333	6.69917	6.69917	7.25592	7.39866
795	1160	1010	924	777	903.667	6.45476	6.45476	6.73756	6.8094
785	1170	1010	823	965	932.667	8.2348	8.2348	8.3458	8.77434
775	1180	1010	924	942	958.667	6.11722	6.11722	6.43795	6.93473
765	1190	1010	924	1011	981.667	6.3335	6.3335	7.05744	7.96334
755	1200	1010	1011	925	982	9.72289	9.72289	9.87497	9.95269
745	1210	823	924	942	896.333	4.93116	4.93116	5.74169	5.9208
735	1220	924	823	777	841.333	6.26054	6.26054	6.2868	6.94419
725	1230	823	1010	938	923.667	7.89057	7.89057	8.6827	9.07873
715	1240	942	924	965	943.667	6.25897	6.25897	6.4458	6.86822
705	1250	823	965	924	904	6.0846	6.0846	6.10687	7.19106
695	1260	1011	823	1140	991.333	4.67756	4.67756	5.34092	6.0398
685	1270	1060	1010	1011	1027	5.45664	5.45664	5.57581	5.70368
675	1280	823	965	1011	933	5.37525	5.37525	5.39055	6.151
665	1290	823	1060	915	932.667	6.43139	6.43139	7.02244	8.22194
655	1300	924	942	1010	958.667	4.66003	4.66003	5.20494	5.4151
645	1310	823	942	1010	925	6.68563	6.68563	6.75995	7.36328
635	1320	1060	1140	823	1007.67	6.16567	6.16567	7.27727	7.33931
625	1330	777	1011	1120	969.333	7.24995	7.24995	7.6234	7.89901
615	1340	1011	1011	924	982	6.62703	6.62703	6.73224	6.89303

Précipitations moyennes - juin, juillet et août

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
2005	-50	255	285	276	272	3.98368	3.98368	5.95382	6.29781
1995	-40	288	285	261	278	4.97198	4.97198	5.23944	5.69413
1965	-10	255	255	285	265	5.94476	5.94476	6.09403	6.14365
1955	0	285	271	288	281.333	5.42579	5.42579	5.96336	6.1466
1945	10	265	288	276	276.333	4.97187	4.97187	5.35939	6.87928
1935	20	277	261	288	275.333	4.66172	4.66172	4.81777	5.0888
1925	30	288	265	217	256.667	6.62134	6.62134	7.19699	7.53963
1915	40	272	281	311	288	5.18832	5.18832	5.47517	5.99763
1905	50	267	255	281	267.667	4.01222	4.01222	5.52605	5.64516
1895	60	287	281	245	271	5.09545	5.09545	7.29002	7.36028
1885	70	281	255	245	260.333	4.05376	4.05376	4.71078	5.03355
1875	80	267	276	287	276.667	3.93724	3.93724	4.72346	5.39488
1865	90	287	267	246	266.667	4.88465	4.88465	5.56248	5.83256
1855	100	267	265	288	273.333	4.09896	4.09896	5.40908	5.91891
1845	110	265	288	281	278	4.12681	4.12681	5.34997	5.38386
1835	120	281	288	267	278.667	4.77507	4.77507	5.19435	5.1989
1825	130	259	246	265	256.667	5.30618	5.30618	5.49043	6.31896
1815	140	288	281	265	278	4.31594	4.31594	4.57187	5.85512
1805	150	245	281	255	260.333	4.09382	4.09382	5.92944	6.65526
1795	160	245	217	288	250	5.97643	5.97643	6.06488	6.12285
1785	170	297	296	261	284.667	6.08591	6.08591	7.89931	8.18638
1775	180	288	267	245	266.667	5.85089	5.85089	5.93466	6.25789
1765	190	288	276	281	281.667	3.3693	3.3693	4.88104	5.14466
1755	200	271	288	261	273.333	4.45896	4.45896	4.56738	5.25285
1745	210	288	276	265	276.333	3.70525	3.70525	4.08604	4.54218
1735	220	267	281	217	255	4.87221	4.87221	5.12191	5.50699
1725	230	288	217	271	258.667	4.49495	4.49495	5.01521	5.54564
1715	240	288	265	217	256.667	3.60146	3.60146	5.14708	5.78086
1705	250	245	235	288	256	4.6506	4.6506	5.09308	5.4785
1695	260	276	288	281	281.667	4.34198	4.34198	4.76956	5.82164
1685	270	259	232	235	242	4.79623	4.79623	4.81233	4.91834
1675	280	265	288	246	266.333	4.77337	4.77337	5.42828	5.841
1665	290	245	235	265	248.333	4.34089	4.34089	5.48459	5.80411
1655	300	259	217	252	242.667	5.93908	5.93908	6.04765	6.54901
1645	310	259	235	255	249.667	5.39707	5.39707	6.32324	6.41165

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1635	320	232	246	259	245.667	3.93707	3.93707	4.29494	5.1099
1625	330	281	288	265	278	5.25587	5.25587	5.54343	5.60286
1615	340	288	245	265	266	5.05413	5.05413	5.74696	6.44977
1605	350	267	281	282	276.667	3.50586	3.50586	4.67054	5.29383
1595	360	217	281	288	262	4.23477	4.23477	4.6587	5.25446
1585	370	288	265	217	256.667	4.89647	4.89647	5.88975	6.5983
1575	380	217	265	281	254.333	4.87055	4.87055	5.18849	5.7982
1565	390	288	245	257	263.333	5.19105	5.19105	5.79496	6.77888
1555	400	288	267	245	266.667	5.45117	5.45117	6.28485	6.28982
1545	410	281	276	274	277	2.89871	2.89871	3.77227	4.54128
1535	420	217	288	281	262	5.68539	5.68539	6.20539	6.79527
1525	430	288	267	216	257	7.05193	7.05193	7.38961	7.84553
1515	440	281	276	288	281.667	5.00783	5.00783	5.77218	5.97859
1505	450	288	281	276	281.667	3.37088	3.37088	4.80694	5.9671
1495	460	277	245	281	267.667	5.04678	5.04678	5.20995	5.58317
1485	470	217	288	321	275.333	5.83403	5.83403	6.63065	7.53685
1475	480	281	217	276	258	4.8891	4.8891	5.50762	5.83021
1465	490	288	277	309	291.333	4.37925	4.37925	4.68975	5.27638
1455	500	217	288	281	262	5.41453	5.41453	5.89492	6.59311
1445	510	288	297	277	287.333	4.16697	4.16697	5.1825	5.53812
1435	520	261	235	277	257.667	5.972	5.972	6.25881	6.63069
1425	530	297	277	308	294	3.39108	3.39108	7.21708	7.24529
1415	540	297	269	288	284.667	5.66097	5.66097	6.12536	6.27629
1405	550	217	281	262	253.333	4.32817	4.32817	6.54112	6.96685
1395	560	217	235	276	242.667	4.28745	4.28745	7.5168	9.26637
1385	570	217	282	269	256	4.60022	4.60022	6.74709	7.8759
1375	580	217	272	288	259	5.67937	5.67937	6.83845	6.99547
1365	590	245	308	272	275	6.88252	6.88252	7.4352	7.51273
1355	600	272	341	321	311.333	6.17156	6.17156	6.25202	6.28021
1345	610	308	272	245	275	5.40376	5.40376	5.90069	6.60642
1335	620	272	308	309	296.333	7.96646	7.96646	8.82815	9.1135
1325	630	272	281	309	287.333	4.65441	4.65441	5.28344	5.46655
1315	640	297	308	308	304.333	6.21746	6.21746	6.81039	6.87085
1305	650	341	297	308	315.333	8.14652	8.14652	8.17315	8.69119
1295	660	308	309	341	319.333	4.79418	4.79418	4.92075	5.44339
1285	670	321	341	288	316.667	4.96694	4.96694	5.15938	5.24572
1275	680	308	309	309	308.667	4.77989	4.77989	5.21227	5.33607

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
1265	690	308	297	288	297.667	6.887	6.887	7.50761	8.57772
1255	700	341	263	321	308.333	5.11306	5.11306	5.25808	5.65046
1245	710	272	245	281	266	6.97969	6.97969	7.23188	7.27175
1235	720	223	308	292	274.333	6.63021	6.63021	6.89478	7.53693
1225	730	217	292	245	251.333	5.45737	5.45737	5.96954	5.98015
1215	740	297	308	223	276	7.38537	7.38537	7.50634	8.75355
1205	750	308	292	288	296	5.50482	5.50482	5.56268	6.00147
1195	760	223	321	272	272	4.9043	4.9043	5.75642	6.03438
1185	770	321	292	281	298	3.87743	3.87743	5.88791	5.93911
1175	780	281	217	272	256.667	5.6683	5.6683	5.75567	5.81957
1165	790	281	217	245	247.667	6.39863	6.39863	6.79909	6.8956
1155	800	308	272	308	296	4.34313	4.34313	5.49797	5.59898
1145	810	281	272	282	278.333	5.6424	5.6424	6.21803	6.53877
1135	820	245	263	257	255	4.0848	4.0848	5.86188	6.24384
1125	830	245	288	308	280.333	6.61264	6.61264	7.60758	7.74311
1115	840	281	308	245	278	5.82733	5.82733	5.91861	5.98134
1105	850	245	281	341	289	4.84097	4.84097	5.58195	6.14136
1095	860	308	308	276	297.333	4.3574	4.3574	5.00377	5.00875
1085	870	308	272	341	307	5.03654	5.03654	5.96282	6.14249
1075	880	272	308	308	296	3.79389	3.79389	4.58512	5.58228
1065	890	245	270	288	267.667	5.90991	5.90991	6.3641	6.66445
1055	900	297	293	288	292.667	5.06021	5.06021	6.53584	6.59581
1045	910	297	245	308	283.333	5.78048	5.78048	6.76673	6.95214
1035	920	272	281	308	287	6.06465	6.06465	6.47619	7.08315
1025	930	308	292	297	299	5.76629	5.76629	5.98424	5.98873
1015	940	272	309	308	296.333	5.7424	5.7424	5.99305	6.22472
1005	950	272	263	308	281	5.61576	5.61576	6.22001	6.44573
995	960	272	223	321	272	6.85017	6.85017	7.74284	7.9205
985	970	321	311	308	313.333	5.74234	5.74234	6.24757	6.458
975	980	223	217	341	260.333	6.66201	6.66201	7.69056	8.67656
965	990	282	272	281	278.333	6.65397	6.65397	7.30297	7.54015
955	1000	245	272	281	266	6.57103	6.57103	7.6676	7.87774
945	1010	308	272	223	267.667	6.94372	6.94372	7.23233	7.84434
935	1020	272	223	341	278.667	5.61308	5.61308	5.66602	5.75455
925	1030	281	272	245	266	7.83399	7.83399	7.95531	8.63568
915	1040	308	223	217	249.333	7.55036	7.55036	7.85443	9.50719
905	1050	223	272	245	246.667	7.1354	7.1354	7.57927	8.16691

An AD	An BP	1 analogue (°C)	2 analogues (°C)	3 analogues (°C)	Moyenne des 3 analogues (°C)	Coefficient de dissemblance minimale	Dissemblance-1 analogue	Dissemblance-2 analogues	Dissemblance-3 analogues
895	1060	223	308	267	266	5.42455	5.42455	7.87562	8.19272
885	1070	272	217	223	237.333	8.1028	8.1028	8.4977	9.23639
875	1080	272	281	217	256.667	5.71526	5.71526	7.27901	7.79299
865	1090	272	281	217	256.667	4.68222	4.68222	6.02493	7.17124
855	1100	272	281	321	291.333	5.8513	5.8513	6.15716	6.61512
845	1110	223	308	245	258.667	7.74603	7.74603	8.17035	8.33831
835	1120	308	263	272	281	7.87192	7.87192	8.13755	8.33977
825	1130	223	217	308	249.333	6.94247	6.94247	8.35005	9.04776
815	1140	308	272	223	267.667	6.22687	6.22687	6.44069	6.79561
805	1150	223	308	267	266	6.69917	6.69917	7.25592	7.39866
795	1160	308	272	223	267.667	6.45476	6.45476	6.73756	6.8094
785	1170	308	245	263	272	8.2348	8.2348	8.3458	8.77434
775	1180	308	272	281	287	6.11722	6.11722	6.43795	6.93473
765	1190	308	272	309	296.333	6.3335	6.3335	7.05744	7.96334
755	1200	308	308	276	297.333	9.72289	9.72289	9.87497	9.95269
745	1210	245	272	281	266	4.93116	4.93116	5.74169	5.9208
735	1220	272	245	223	246.667	6.26054	6.26054	6.2868	6.94419
725	1230	245	308	282	278.333	7.89057	7.89057	8.6827	9.07873
715	1240	281	272	263	272	6.25897	6.25897	6.4458	6.86822
705	1250	245	263	272	260	6.0846	6.0846	6.10687	7.19106
695	1260	308	245	341	298	4.67756	4.67756	5.34092	6.0398
685	1270	297	308	308	304.333	5.45664	5.45664	5.57581	5.70368
675	1280	245	263	308	272	5.37525	5.37525	5.39055	6.151
665	1290	245	297	270	270.667	6.43139	6.43139	7.02244	8.22194
655	1300	272	281	308	287	4.66003	4.66003	5.20494	5.4151
645	1310	245	281	308	278	6.68563	6.68563	6.75995	7.36328
635	1320	297	341	245	294.333	6.16567	6.16567	7.27727	7.33931
625	1330	223	308	288	273	7.24995	7.24995	7.6234	7.89901
615	1340	308	309	272	296.333	6.62703	6.62703	6.73224	6.89303

**Annexe 3. Micro-charbons**

An AD	An BP	1/64 - 1/32	1/32 - 1/16	1/16 - 1/8	1/8 - 1/4	1/4 - 1/2	≥1	Lycopodiums exotiques
2005	-50	34	1	2	1	0	0	54
1995	-40	18	6	3	0	0	0	50
1965	-10	15	20	9	8	2	1	56
1955	0	43	2	3	1	0	0	38
1945	10	9	5	5	1	2	0	32
1935	20	15	20	9	3	0	2	36
1925	30	36	3	0	1	0	0	45
1915	40	6	28	10	5	5	0	55
1905	50	44	5	2	4	0	0	65
1895	60	25	2	3	0	1	2	43
1885	70	13	4	6	1	0	0	79
1875	80	6	7	2	1	1	0	37
1865	90	16	3	4	2	1	0	56
1855	100	10	2	4	1	0	1	24
1845	110	4	2	2	0	0	0	56
1835	120	2	7	1	2	1	0	60
1825	130	8	2	2	1	0	0	89
1815	140	8	2	1	0	0	5	58
1805	150	5	6	3	0	0	0	18
1795	160	7	5	2	0	1	0	70
1785	170	14	3	1	1	0	0	68
1775	180	15	3	2	0	1	0	54
1765	190	10	1	1	1	1	1	45
1755	200	7	2	4	1	1	0	85
1745	210	12	4	3	0	0	0	83
1735	220	13	2	1	0	0	0	56
1725	230	10	2	1	2	0	0	71
1715	240	6	5	2	0	0	0	71
1705	250	13	2	2	1	0	0	90
1695	260	8	3	3	0	0	0	68
1685	270	8	12	6	0	0	0	84
1675	280	27	6	3	1	0	0	60
1665	290	13	2	1	0	0	0	29
1655	300	3	4	0	0	1	0	56

An AD	An BP	1/64 - 1/32	1/32 - 1/16	1/16 - 1/8	1/8 - 1/4	1/4 - 1/2	≥1	Lycopodiums exotiques
1645	310	7	5	1	0	0	0	15
1635	320	7	6	2	0	0	0	62
1625	330	11	3	4	0	0	0	59
1615	340	11	1	3	3	0	0	70
1605	350	8	3	2	1	0	0	91
1595	360	16	14	4	2	0	0	94
1585	370	25	3	1	1	0	1	46
1575	380	8	7	1	0	0	0	55
1565	390	11	2	1	1	0	0	45
1555	400	3	5	0	0	0	0	25
1545	410	6	1	1	0	1	0	64
1535	420	5	2	1	1	0	0	74
1525	430	6	4	4	1	0	0	33
1515	440	4	4	5	1	0	0	72
1505	450	14	5	1	1	0	0	63
1495	460	8	5	3	0	1	1	20
1485	470	19	4	2	2	0	1	61
1475	480	9	6	3	0	1	0	74
1465	490	13	7	2	0	0	0	54
1455	500	15	7	4	0	0	0	53
1445	510	19	0	4	1	0	0	39
1435	520	2	4	1	3	0	0	51
1425	530	13	6	1	0	2	0	49
1415	540	9	4	4	0	0	0	76
1405	550	13	9	1	3	0	1	61
1395	560	23	10	5	4	2	4	55
1385	570	16	6	3	0	1	0	69
1375	580	14	6	2	7	1	8	63
1365	590	20	8	3	0	0	8	38
1355	600	27	2	2	0	0	1	49
1345	610	6	4	6	1	3	4	59
1335	620	12	1	2	0	0	0	44
1325	630	10	5	3	1	0	1	63
1315	640	9	4	1	0	1	0	39
1305	650	9	1	1	1	0	0	52

An AD	An BP	1/64 - 1/32	1/32 - 1/16	1/16 - 1/8	1/8 - 1/4	1/4 - 1/2	≥1	Lycopodiums exotiques
1295	660	6	5	4	0	1	0	52
1285	670	15	2	0	0	0	0	42
1275	680	9	6	0	0	0	0	23
1265	690	6	2	2	0	0	0	53
1255	700	8	5	3	1	0	0	61
1245	710	15	6	0	0	0	0	44
1235	720	15	3	0	0	0	0	60
1225	730	5	1	2	0	0	0	75
1215	740	12	8	4	0	0	0	60
1205	750	17	5	3	0	0	1	55
1195	760	13	8	1	0	1	1	50
1185	770	22	2	1	2	0	0	47
1175	780	3	6	1	0	0	0	44
1165	790	15	4	9	0	1	0	43
1155	800	15	9	2	1	0	0	77
1145	810	14	3	2	1	0	0	69
1135	820	8	6	0	1	0	0	36
1125	830	9	4	4	1	0	0	40
1115	840	14	3	2	1	0	1	49
1105	850	16	7	3	1	0	0	50
1095	860	31	2	1	3	0	0	51
1085	870	11	10	3	0	0	0	75
1075	880	20	0	0	0	0	0	43
1065	890	6	11	1	0	0	0	53
1055	900	20	4	1	0	0	0	55
1045	910	12	1	1	0	0	0	42
1035	920	6	10	4	1	0	0	55
1025	930	18	6	2	1	1	0	60
1015	940	13	5	2	0	0	1	56
1005	950	9	3	1	1	0	0	75
995	960	8	5	3	1	1	0	47
985	970	8	6	1	0	0	0	40
975	980	10	7	1	0	1	0	66
965	990	15	4	3	0	1	0	30
955	1000	9	2	5	0	0	0	47
945	1010	6	3	1	0	0	0	34

An AD	An BP	1/64 - 1/32	1/32 - 1/16	1/16 - 1/8	1/8 - 1/4	1/4 - 1/2	≥1	Lycopodiums exotiques
935	1020	9	3	3	0	0	0	41
925	1030	11	4	1	2	0	0	67
915	1040	5	6	4	0	0	0	44
905	1050	11	5	4	0	0	0	66
895	1060	11	4	6	1	0	0	38
885	1070	9	0	2	1	0	0	54
875	1080	5	7	7	1	0	0	27
865	1090	7	6	2	0	1	0	55
855	1100	9	6	2	1	0	0	43
845	1110	7	11	1	4	1	0	57
835	1120	22	1	1	0	0	0	44
825	1130	3	4	1	1	0	0	43
815	1140	9	0	2	0	0	0	49
805	1150	3	3	2	2	0	0	70
795	1160	7	10	3	0	1	1	52
785	1170	22	11	2	3	0	0	39
775	1180	21	3	1	2	0	0	44
765	1190	9	7	4	1	0	0	75
755	1200	12	5	3	0	0	0	50
745	1210	11	12	4	0	0	0	53
735	1220	24	4	2	0	0	0	54
725	1230	8	9	4	1	0	0	37
715	1240	18	4	0	0	0	0	77
705	1250	10	2	1	0	0	0	38
695	1260	12	4	3	0	0	0	57
685	1270	8	4	0	0	0	0	41
675	1280	11	6	1	0	0	0	40
665	1290	13	5	1	0	0	0	33
655	1300	8	5	2	2	1	0	40
645	1310	14	9	4	1	0	0	39
635	1320	21	6	3	2	0	0	40
625	1330	13	11	2	0	1	0	50
615	1340	21	8	2	3	0	0	41

**Annexe 4. Épaisseur des lamines**

<b>AD</b>	<b>BP</b>	<b>Carotte 3</b>	<b>Carotte 4</b>	<b>Carotte 5</b>	<b>Carotte 7</b>	<b>Moyenne cumulative</b>	<b>Écart type mobile</b>	<b>Moyenne mobile</b>
2005	-50	-	19.0667	26.4747	-	22.7707	-	-
1995	-40	-	22.8440	19.3987	-	21.1213	-	-
1985	-30	-	15.1067	18.5173	-	16.8120	-	-
1975	-20	-	16.2847	18.8213	-	17.5530	-	-
1965	-10	-	20.6507	13.9073	-	17.2790	3.2936	16.6616
1955	0	-	12.9713	14.0913	-	13.5313	3.0853	15.4102
1945	10	-	16.3633	15.4600	-	15.9117	3.6047	13.9095
1935	20	-	16.0160	15.4247	15.3587	15.5998	4.0820	12.9008
1925	30	13.9907	13.7060	12.6407	14.8227	13.7900	4.1898	11.7869
1915	40	11.5393	14.3500	11.7893	11.3107	12.2473	4.0205	10.6936
1905	50	12.4813	10.1147	8.1027	10.3273	10.2565	4.1401	9.9344
1895	60	5.1013	6.0500	7.8180	5.4893	6.1147	3.6628	9.0082
1885	70	7.8020	6.4287	6.7300	5.9380	6.7247	2.8826	8.1156
1875	80	5.1447	6.3660	6.9387	7.2073	6.4142	2.1101	7.3762
1865	90	7.4273	6.1907	7.1687	4.5960	6.3457	1.2380	6.8658
1855	100	6.4840	5.2987	7.1520	4.8233	5.9395	0.3538	6.5235
1845	110	7.5500	6.9247	5.5827	6.5433	6.6502	0.4349	6.6609
1835	120	8.4140	5.9293	6.3380	6.0120	6.6733	0.4509	6.6154
1825	130	6.5840	4.7833	6.7987	7.4193	6.3963	0.4486	6.6206
1815	140	8.0507	6.5753	6.4760	7.4680	7.1425	0.4510	6.6173
1805	150	7.2797	7.3273	6.4273	6.3013	6.8339	0.8672	6.4466
1795	160	7.5747	6.4747	8.2390	7.6660	7.4886	0.8933	6.3525
1785	170	5.1007	7.3127	6.9000	5.7673	6.2702	0.9073	6.2553
1775	180	6.4830	6.7760	6.2333	6.3713	6.4659	0.9341	6.1676
1765	190	7.2533	6.5500	6.4387	5.0087	6.3127	0.8691	6.0624
1755	200	4.3033	3.9873	4.3413	4.2967	4.2322	0.8472	5.9167
1745	210	6.1467	6.0400	5.7500	4.8993	5.7090	0.6509	5.7090
1735	220	4.5533	7.0207	5.9760	5.2560	5.7015	0.6246	5.6236
1725	230	5.1867	5.4320	6.1620	5.2987	5.5198	0.7707	5.7007
1715	240	6.6000	6.9233	5.1513	5.6843	6.0898	0.8179	5.7428
1705	250	5.4993	6.3527	5.4967	4.1607	5.3773	0.8177	5.7428
1695	260	5.2967	5.9040	4.3913	6.0540	5.4115	0.8715	5.8419
1685	270	5.6300	5.0033	5.8453	5.1847	5.4158	0.9365	5.9671
1675	280	7.9587	6.7600	7.7367	6.4947	7.2375	0.9508	5.9450
1665	290	6.7427	7.9027	6.3487	5.9387	6.7332	1.3904	5.6076
1655	300	3.5380	5.6200	3.1647	4.6087	4.2328	1.4054	5.7028
1645	310	7.4140	7.5607	4.2260	7.6000	6.7002	1.4102	5.7842
1635	320	8.0600	6.4360	6.9460	6.3707	6.9532	1.4240	5.8999

AD	BP	Carotte 3	Carotte 4	Carotte 5	Carotte 7	Moyenne cumulative	Écart type mobile	Moyenne mobile
1625	330	5.2473	5.8627	4.7100	5.3730	5.2983	1.3665	5.8290
1615	340	2.0820	2.2527	4.2207	2.3110	2.7166	1.3752	5.8402
1605	350	5.4870	5.9180	6.0220	7.8900	6.3293	1.3195	6.1487
1595	360	6.5393	5.3587	6.2030	6.7987	6.2249	1.3094	6.1208
1585	370	5.8573	7.3920	7.6687	5.3740	6.5730	1.3144	6.1277
1575	380	5.7913	6.4333	6.7407	7.1487	6.5285	1.2860	6.2528
1565	390	6.0227	7.4620	7.5360	6.3600	6.8452	0.3778	6.5884
1555	400	7.7087	8.0100	6.6047	6.9487	7.3180	0.3766	6.6444
1545	410	5.7733	7.0100	5.5927	7.3093	6.4213	0.4053	6.7574
1535	420	6.6453	7.4320	7.7713	6.2380	7.0217	0.5920	6.9159
1525	430	6.1353	5.9700	8.7727	5.3193	6.5493	0.6189	7.0305
1515	440	6.2287	7.1340	5.2727	5.6553	6.0727	0.7245	7.1719
1505	450	7.5847	9.0173	5.4353	5.5187	6.8890	0.8067	7.2690
1495	460	8.9440	6.5360	6.9900	6.9520	7.3555	0.7663	7.4134
1485	470	7.2413	6.0907	11.1747	8.1240	8.1577	0.7690	7.4089
1475	480	8.3727	7.6640	5.8567	8.8040	7.6743	0.7484	7.5819
1465	490	8.5433	7.8913	9.7813	6.8233	8.2598	0.5421	7.7883
1455	500	8.1400	7.3147	9.1753	8.5247	8.2887	0.4756	7.9448
1445	510	7.1347	7.7880	8.9267	7.6133	7.8657	0.6620	8.1700
1435	520	7.7733	7.9020	6.0293	6.2013	6.9765	0.7078	8.2505
1425	530	8.2540	6.3000	9.9553	8.6060	8.2788	1.5459	8.7539
1415	540	7.5433	8.2293	8.6160	8.1587	8.1368	1.8117	9.1125
1405	550	8.2280	8.6687	7.8733	9.0480	8.4545	1.7893	9.2220
1395	560	8.5980	11.0467	9.9760	8.8080	9.6072	2.2948	8.8940
1385	570	8.9627	8.8463	9.6460	8.3973	8.9631	2.3816	8.8138
1375	580	11.6473	13.8527	14.2207	11.1093	12.7075	2.7996	8.4041
1365	590	13.6467	11.7630	10.2487	11.7273	11.8464	2.9781	8.1113
1355	600	10.2700	9.7550	7.3607	10.1480	9.3834	3.1306	7.7656
1345	610	6.7040	3.6760	2.5733	5.3890	4.5856	3.1172	7.3780
1335	620	5.0573	7.5247	6.5660	5.5527	6.1752	3.0993	7.0607
1325	630	4.2860	4.4713	3.6387	4.3307	4.1817	2.4132	6.3091
1315	640	5.3020	5.4347	4.8460	5.2533	5.2090	1.4366	5.6431
1305	650	5.6620	5.1827	4.3667	4.7780	4.9973	0.5892	5.1951
1295	660	6.8707	6.0420	5.3140	4.6980	5.7312	0.5583	5.2951
1285	670	8.0853	4.5587	5.1233	5.3907	5.7895	0.4656	5.2057
1275	680	6.0920	5.2527	4.4760	4.9480	5.1922	0.3027	5.2988
1265	690	5.5400	5.4553	4.5193	5.2307	5.1863	0.3530	5.2505
1255	700	4.9850	5.1880	4.4800	4.9587	4.9029	0.4009	5.2123
1245	710	5.6613	5.5253	5.3440	5.8120	5.5857	0.3640	5.1770

AD	BP	Carotte 3	Carotte 4	Carotte 5	Carotte 7	Moyenne cumulative	Écart type mobile	Moyenne mobile
1235	720	6.6140	5.3020	4.7333	4.4753	5.2812	0.3143	5.1444
1225	730	7.1860	3.8567	5.1480	4.2613	5.1130	0.3649	5.0803
1215	740	5.1267	4.5513	4.0127	5.2120	4.7257	0.3631	5.0704
1205	750	5.9027	5.0473	3.9087	3.6020	4.6152	0.3815	5.1305
1195	760	6.7987	5.0407	5.1220	4.5540	5.3788	0.3466	5.0760
1185	770	5.8060	5.2633	5.6253	5.1593	5.4635	0.3398	5.0461
1175	780	6.7047	4.3367	3.9333	3.2267	4.5503	0.3781	5.0917
1165	790	5.7347	4.8920	4.1507	5.5753	5.0882	0.4237	5.0595
1155	800	5.6407	6.8993	4.7860	4.6893	5.5038	0.3950	5.1181
1145	810	5.8233	3.5573	5.4027	5.3767	5.0400	0.3842	5.0896
1135	820	5.2393	3.9680	5.5460	5.1760	4.9823	0.3611	5.0492
1125	830	5.6120	6.5127	5.3967	4.7533	5.5687	0.3159	5.1081
1115	840	5.5953	3.7347	4.1187	4.1660	4.4037	0.3234	5.0883
1105	850	5.0847	5.4413	5.1307	5.1507	5.2018	0.3125	5.0801
1095	860	5.6440	5.1420	5.4993	4.0900	5.0938	0.3313	5.0494
1085	870	6.2573	4.7160	4.8940	4.3687	5.0590	0.3499	5.0206
1075	880	6.0440	4.3067	5.4973	4.7087	5.1392	0.4961	4.8329
1065	890	3.9833	4.9473	5.4553	5.1753	4.8903	0.4845	4.8467
1055	900	6.9547	3.7200	6.3333	4.6793	5.4218	0.4729	4.8283
1045	910	4.5230	4.8400	5.4567	4.1153	4.7338	0.5023	4.8599
1035	920	4.8250	4.2600	4.9867	4.7020	4.6934	0.5422	4.9061
1025	930	1.2627	5.6647	4.1493	3.6907	3.6918	0.5360	4.8785
1015	940	4.4727	5.4287	2.9187	5.3493	4.5423	0.6304	4.9821
1005	950	5.3133	5.1873	5.1700	4.3993	5.0175	0.6127	4.9196
995	960	5.3760	4.7793	6.0207	5.4633	5.4098	0.8221	5.1149
985	970	7.0353	5.0720	5.4473	4.5273	5.5205	0.8621	5.2562
975	980	5.2440	5.1953	4.5540	4.4620	4.8638	0.6759	5.4696
965	990	6.1267	6.7853	5.7600	5.0340	5.9265	0.5932	5.5838
955	1000	4.9647	4.3180	4.4687	5.4360	4.7968	0.5653	5.6197
945	1010	8.8527	5.6727	6.6680	5.5507	6.6860	0.5737	5.6044
935	1020	7.0787	5.9153	5.7357	5.6973	6.1068	0.5820	5.5813
925	1030	5.6960	5.6580	5.4987	6.4500	5.8257	0.6137	5.5603
915	1040	7.2567	5.1847	5.5660	4.7300	5.6843	0.6024	5.5361
905	1050	7.3120	4.5387	4.8960	4.7613	5.3770	0.5833	5.5512
895	1060	4.7793	5.6727	4.5280	6.0453	5.2563	0.5161	5.3329
885	1070	6.9780	4.3413	5.3423	4.4973	5.2898	0.5190	5.1592
875	1080	4.5720	4.8080	4.8140	4.4200	4.6535	0.5250	5.0070
865	1090	6.6727	5.1200	5.9920	4.9533	5.6845	0.4698	4.9184
855	1100	5.2567	4.7713	4.9453	5.1287	4.9484	0.4623	4.8239

<b>AD</b>	<b>BP</b>	<b>Carotte 3</b>	<b>Carotte 4</b>	<b>Carotte 5</b>	<b>Carotte 7</b>	<b>Moyenne cumulative</b>	<b>Écart type mobile</b>	<b>Moyenne mobile</b>
845	1110	5.1127	4.6140	3.6680	5.2267	4.5029	0.4467	4.8056
835	1120	4.3561	4.3833	4.5907	4.1353	4.3698	0.4179	4.7317
825	1130	-	4.4320	4.8247	3.6540	4.3036	0.4173	4.7456
815	1140	-	4.1480	5.0353	5.2107	4.7980	0.3068	4.6950
805	1150	-	3.1863	4.6033	5.5063	4.4320	0.3125	4.7007
795	1160	-	3.7900	5.5520	5.8793	5.0738	0.4069	4.6374
785	1170	-	4.5160	4.0973	5.0387	4.5507	0.4038	4.6923
775	1180	-	4.2620	5.0733	5.0427	4.7927	0.4014	4.6945
765	1190	-	5.1507	4.9247	5.4593	5.1782	0.4654	4.6077
755	1200	-	4.1633	5.8013	5.0520	5.0056	0.5921	4.5098
745	1210	-	3.0813	3.8873	4.6413	3.8700	0.5585	4.4398
735	1220	-	4.5880	4.7853	5.3813	4.9182	0.5720	4.3864
725	1230	-	3.6753	4.9767	-	4.3260	0.5713	4.2971
715	1240	-	4.5860	3.2733	-	3.9297	0.4831	4.2161
705	1250	-	3.2113	3.6947	-	3.4530	0.4137	4.0900
695	1260	-	3.4473	5.3000	-	4.3737	0.4074	4.1052
685	1270	-	-	4.0173	-	4.0173	0.4461	4.1219
675	1280	-	-	3.8993	-	3.8993	0.4549	4.1354
665	1290	-	-	4.3680	-	4.3680	0.4560	4.1333
655	1300	-	-	3.7447	-	3.7447	0.4422	4.1420
645	1310	-	-	4.0220	-	4.0220	0.4785	4.0529
635	1320	-	-	5.0853	-	5.0853	-	-
625	1330	-	-	4.4607	-	4.4607	-	-
615	1340	-	-	3.9087	-	3.9087	-	-
615	1350	-	-	3.5400	-	3.5400	-	-
605	1360	-	-	3.4830	-	3.4830	-	-

*Annexe 5. Perte au feu*

An BP	An AD	Creuset (g)	105°C + creuset (g)	550°C + creuset (g)	950°C + creuset (g)	Poids sec (g)	Poids organique (g)	Poids carbonate (g)	% matières organiques	% matières carbonatées
-50	2005	10.097	10.138	10.118	10.114	0.041	0.02	0.004	48.780	9.756
-40	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-30	1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-20	1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-10	1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	1955	7.881	7.946	7.914	7.908	0.065	0.032	0.006	49.231	9.231
10	1945	8.311	8.371	8.341	8.34	0.06	0.03	0.001	50.000	1.667
20	1935	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	1925	8.033	8.088	8.058	8.054	0.055	0.03	0.004	54.545	7.273
40	1915	8.115	8.176	8.143	8.141	0.061	0.033	0.002	54.098	3.279
50	1905	8.496	8.54	8.516	8.513	0.044	0.024	0.003	54.545	6.818
60	1895	8.408	8.487	8.47	8.462	0.079	0.017	0.008	21.519	10.127
70	1885	8.396	8.446	8.428	8.421	0.05	0.018	0.007	36.000	14.000
80	1875	8.577	8.647	8.616	8.61	0.07	0.031	0.006	44.286	8.571
90	1865	8.234	8.357	8.287	8.274	0.123	0.07	0.013	56.911	10.569
100	1855	9.203	9.358	9.333	9.328	0.155	0.025	0.005	16.129	3.226
110	1845	7.849	7.896	7.873	7.87	0.047	0.023	0.003	48.936	6.383
120	1835	8.426	8.463	8.436	8.433	0.037	0.027	0.003	72.973	8.108
130	1825	8.217	8.263	8.235	8.234	0.046	0.028	0.001	60.870	2.174
140	1815	7.827	7.869	7.845	7.842	0.042	0.024	0.003	57.143	7.143
150	1805	9.309	9.356	9.337	9.327	0.047	0.019	0.010	40.426	21.277
160	1795	8.248	8.3	8.266	8.266	0.052	0.034	0.000	65.385	0.000
170	1785	8.414	8.463	8.436	8.436	0.049	0.027	0.000	55.102	0.000
180	1775	8.053	8.104	8.073	8.069	0.051	0.031	0.004	60.784	7.843
190	1765	8.259	8.307	8.28	8.277	0.048	0.027	0.003	56.250	6.250
200	1755	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	1745	7.853	7.903	7.875	7.871	0.05	0.028	0.004	56.000	8.000
220	1735	8.758	8.811	8.777	8.772	0.053	0.034	0.005	64.151	9.434
230	1725	7.756	7.81	7.781	7.78	0.054	0.029	0.001	53.704	1.852
240	1715	8.438	8.492	8.462	8.457	0.054	0.03	0.005	55.556	9.259
250	1705	8.475	8.539	8.505	8.503	0.064	0.034	0.002	53.125	3.125
260	1695	8.464	8.519	8.487	8.485	0.055	0.032	0.002	58.182	3.636
270	1685	8.365	8.421	8.389	8.387	0.056	0.032	0.002	57.143	3.571
280	1675	8.571	8.617	8.585	8.582	0.046	0.032	0.003	69.565	6.522

An BP	An AD	Creuset (g)	105°C + creuset (g)	550°C + creuset (g)	950°C + creuset (g)	Poids sec (g)	Poids organique (g)	Poids carbonate (g)	% matières organiques	% matières carbonatées
290	1665	8.32	8.385	8.347	8.346	0.065	0.038	0.001	58.462	1.538
300	1655	7.767	7.826	7.793	7.791	0.059	0.033	0.002	55.932	3.390
310	1645	8.035	8.094	8.06	8.055	0.059	0.034	0.005	57.627	8.475
320	1635	8.161	8.222	8.191	8.186	0.061	0.031	0.005	50.820	8.197
330	1625	8.719	8.789	8.753	8.748	0.07	0.036	0.005	51.429	7.143
340	1615	9.266	9.335	9.297	-	0.069	0.038	-	55.072	-
350	1605	8.42	8.484	8.45	8.448	0.064	0.034	0.002	53.125	3.125
360	1595	8.031	8.079	8.046	8.045	0.048	0.033	0.001	68.750	2.083
370	1585	7.646	7.695	7.665	7.664	0.049	0.03	0.001	61.224	2.041
380	1575	8.957	9.017	8.982	8.982	0.06	0.035	0.000	58.333	0.000
390	1565	8.449	8.509	8.478	8.477	0.06	0.031	0.001	51.667	1.667
400	1555	8.241	8.298	8.269	8.265	0.057	0.029	0.004	50.877	7.018
410	1545	8.436	8.483	8.457	8.454	0.047	0.026	0.003	55.319	6.383
420	1535	8.53	8.587	8.556	8.556	0.057	0.031	0	54.386	0.000
430	1525	8.211	8.262	8.235	8.229	0.051	0.027	0.006	52.941	11.765
440	1515	8.421	8.482	8.45	8.446	0.061	0.032	0.004	52.459	6.557
450	1505	8.202	8.259	8.232	8.224	0.057	0.027	0.008	47.368	14.035
460	1495	8.797	8.856	8.826	8.82	0.059	0.03	0.006	50.847	10.169
470	1485	8.641	8.703	8.676	8.666	0.062	0.027	0.01	43.548	16.129
480	1475	8.008	8.081	8.049	8.041	0.073	0.032	0.008	43.836	10.959
490	1465	8.057	8.106	8.08	8.072	0.049	0.026	0.008	53.061	16.327
500	1455	8.622	8.682	8.653	8.643	0.06	0.029	0.01	48.333	16.667
510	1445	7.803	7.853	7.827	7.817	0.05	0.026	0.01	52.000	20.000
520	1435	8.515	8.57	8.543	8.536	0.055	0.027	0.007	49.091	12.727
530	1425	7.419	7.482	7.45	7.443	0.063	0.032	0.007	50.794	11.111
540	1415	9.027	9.094	9.056	9.054	0.067	0.038	0.002	56.716	2.985
550	1405	7.58	7.638	7.604	-	0.058	0.034	-	58.621	-
560	1395	8.937	8.985	8.951	8.948	0.048	0.034	0.003	70.833	6.250
570	1385	7.649	7.701	7.673	7.665	0.052	0.028	0.008	53.846	15.385
580	1375	10.422	10.472	10.445	10.436	0.05	0.027	0.009	54.000	18.000
590	1365	8.62	8.685	8.654	8.646	0.065	0.031	0.008	47.692	12.308
600	1355	8.593	8.647	8.623	8.614	0.054	0.024	0.009	44.444	16.667
610	1345	8.369	8.426	8.39	8.39	0.057	0.036	0	63.158	0.000
620	1335	8.283	8.339	8.307	8.304	0.056	0.032	0.003	57.143	5.357
630	1325	10.412	10.472	10.44	10.434	0.06	0.032	0.006	53.333	10.000

An BP	An AD	Creuset (g)	105°C + creuset (g)	550°C + creuset (g)	950°C + creuset (g)	Poids sec (g)	Poids organique (g)	Poids carbonate (g)	% matières organiques	% matières carbonatées
640	1315	8.388	8.451	8.418	8.411	0.063	0.033	0.007	52.381	11.111
650	1305	8.274	8.336	8.302	8.296	0.062	0.034	0.006	54.839	9.677
660	1295	8.862	8.921	8.881	8.879	0.059	0.04	0.002	67.797	3.390
670	1285	8.018	8.07	8.048	8.038	0.052	0.022	0.01	42.308	19.231
680	1275	8.294	8.355	8.321	8.321	0.061	0.034	0	55.738	0.000
690	1265	7.908	7.964	7.933	7.931	0.056	0.031	0.002	55.357	3.571
700	1255	8.185	8.256	8.221	8.217	0.071	0.035	0.004	49.296	5.634
710	1245	8.487	8.547	8.517	8.511	0.06	0.03	0.006	50.000	10.000
720	1235	7.446	7.505	7.48	7.471	0.059	0.025	0.009	42.373	15.254
730	1225	8.047	8.102	8.071	8.064	0.055	0.031	0.007	56.364	12.727
740	1215	10.309	10.378	10.335	10.335	0.069	0.043	0	62.319	0.000
750	1205	8.929	8.99	8.955	8.95	0.061	0.035	0.005	57.377	8.197
760	1195	8.285	8.353	8.314	8.311	0.068	0.039	0.003	57.353	4.412
770	1185	9.119	9.185	9.147	9.145	0.066	0.038	0.002	57.576	3.030
780	1175	10.439	10.489	10.463	10.46	0.05	0.026	0.003	52.000	6.000
790	1165	8.879	8.926	8.896	8.894	0.047	0.03	0.002	63.830	4.255
800	1155	10.719	10.773	10.742	10.739	0.054	0.031	0.003	57.407	5.556
810	1145	10.024	10.077	10.05	10.045	0.053	0.027	0.005	50.943	9.434
820	1135	8.36	8.427	8.391	8.382	0.067	0.036	0.009	53.731	13.433
830	1125	9.439	9.502	9.468	9.459	0.063	0.034	0.009	53.968	14.286
840	1115	9.431	9.492	9.46	9.451	0.061	0.032	0.009	52.459	14.754
850	1105	9.231	9.288	9.259	9.255	0.057	0.029	0.004	50.877	7.018
860	1095	7.622	7.669	7.641	7.636	0.047	0.028	0.005	59.574	10.638
870	1085	9.371	9.415	9.392	9.384	0.044	0.023	0.008	52.273	18.182
880	1075	10.288	10.339	10.312	10.305	0.051	0.027	0.007	52.941	13.725
890	1065	10.125	10.179	10.155	10.146	0.054	0.024	0.009	44.444	16.667
900	1055	10.192	10.244	10.216	10.21	0.052	0.028	0.006	53.846	11.538
910	1045	9.119	9.177	9.143	9.14	0.058	0.034	0.003	58.621	5.172
920	1035	9.444	9.505	9.466	9.462	0.061	0.039	0.004	63.934	6.557
930	1025	9.642	9.703	9.673	9.668	0.061	0.03	0.005	49.180	8.197
940	1015	9.578	9.646	9.609	9.604	0.068	0.037	0.005	54.412	7.353
950	1005	9.087	9.143	9.111	9.109	0.056	0.032	0.002	57.143	3.571
960	995	9.061	9.119	9.084	9.08	0.058	0.035	0.004	60.345	6.897
970	985	9.822	9.891	9.854	9.847	0.069	0.037	0.007	53.623	10.145
980	975	10.092	10.155	10.121	10.115	0.063	0.034	0.006	53.968	9.524

An BP	An AD	Creuset (g)	105°C + creuset (g)	550°C + creuset (g)	950°C + creuset (g)	Poids sec (g)	Poids organique (g)	Poids carbonate (g)	% matières organiques	% matières carbonatées
990	965	9.907	9.969	9.932	9.931	0.062	0.037	0.001	59.677	1.613
1000	955	9.08	9.132	9.103	9.099	0.052	0.029	0.004	55.769	7.692
1010	945	10.269	10.319	10.289	10.286	0.05	0.03	0.003	60.000	6.000
1020	935	9.949	10.004	9.973	9.968	0.055	0.031	0.005	56.364	9.091
1030	925	9.226	9.296	9.261	9.252	0.07	0.035	0.009	50.000	12.857
1040	915	10.021	10.086	10.051	10.046	0.065	0.035	0.005	53.846	7.692
1050	905	9.311	9.37	9.337	9.332	0.059	0.033	0.005	55.932	8.475
1060	895	9.015	9.071	9.038	9.034	0.056	0.033	0.004	58.929	7.143
1070	885	9.727	9.776	9.753	9.747	0.049	0.023	0.006	46.939	12.245
1080	875	8.65	8.694	8.672	8.667	0.044	0.022	0.005	50.000	11.364
1090	865	8.515	8.571	8.542	8.534	0.056	0.029	0.008	51.786	14.286
1100	855	9.427	9.476	9.451	9.447	0.049	0.025	0.004	51.020	8.163
1110	845	9.22	9.285	9.252	9.248	0.065	0.033	0.004	50.769	6.154
1120	835	9.405	9.459	9.432	9.43	0.054	0.027	0.002	50.000	3.704
1130	825	9.397	9.449	9.421	9.419	0.052	0.028	0.002	53.846	3.846
1140	815	9.127	9.183	9.149	9.149	0.056	0.034	0	60.714	0.000
1150	805	9.368	9.429	9.392	9.387	0.061	0.037	0.005	60.656	8.197
1160	795	8.773	8.825	8.795	8.79	0.052	0.03	0.005	57.692	9.615
1170	785	10.311	10.363	10.338	10.332	0.052	0.025	0.006	48.077	11.538
1180	775	9.311	9.367	9.336	9.333	0.056	0.031	0.003	55.357	5.357
1190	765	8.977	9.039	9.007	9.003	0.062	0.032	0.004	51.613	6.452
1200	755	9.962	10.024	9.991	9.983	0.062	0.033	0.008	53.226	12.903
1210	745	9.629	9.686	9.657	9.649	0.057	0.029	0.008	50.877	14.035
1220	735	9.803	9.864	9.833	9.825	0.061	0.031	0.008	50.820	13.115
1230	725	9.295	9.351	9.32	9.314	0.056	0.031	0.006	55.357	10.714
1240	715	9.083	9.136	9.104	9.098	0.053	0.032	0.006	60.377	11.321
1250	705	9.197	9.25	9.215	9.214	0.053	0.035	0.001	66.038	1.887
1260	695	9.34	9.396	9.36	9.358	0.056	0.036	0.002	64.286	3.571
1270	685	9.46	9.518	9.486	9.484	0.058	0.032	0.002	55.172	3.448
1280	675	9.761	9.821	9.784	9.782	0.06	0.037	0.002	61.667	3.333
1290	665	9.678	9.729	9.695	9.692	0.051	0.034	0.003	66.667	5.882
1300	655	9.137	9.196	9.159	9.155	0.059	0.037	0.004	62.712	6.780
1310	645	9.632	9.686	9.655	9.65	0.054	0.031	0.005	57.407	9.259
1320	635	8.154	8.209	8.176	8.172	0.055	0.033	0.004	60.000	7.273
1330	625	9.336	9.394	9.358	9.353	0.058	0.036	0.005	62.069	8.621

*Annexe 6. Profil physico-chimique du lac*

Profondeur (m)	Température (°C)	Conductivité (µmHOS)	TDS	Oxygène dissout (%)	Oxygène dissout (mg/L)	pH
0	12.61	89	0.08	85.30	9.04	7.17
2	12.61	89	0.08	85.00	9.02	7.22
4	12.64	89	0.08	83.80	8.94	7.42
6	5.58	90	0.09	69.10	8.61	7.38
8	5.07	88	0.09	65.10	8.32	6.86
10	4.94	87	0.09	65.20	8.39	7.16
12	4.70	86	0.09	62.60	8.02	7.14
14	4.32	86	0.09	64.50	8.10	7.02
16	3.98	85	0.09	49.40	6.48	7.19
18	3.86	85	0.09	46.70	6.11	6.98
20	3.85	85	0.09	40.20	5.29	6.87
22	3.85	85	0.09	37.90	5.00	7.84
24	4.30	87	0.09	40.10	5.12	7.28
26	4.40	86	0.09	38.80	5.58	7.36
28	4.68	98	0.11	19.70	2.49	7.02
30	4.84	111	0.12	11.30	1.46	6.94
32	5.02	337	0.35	8.10	1.05	6.33
34	5.23	545	0.57	7.80	0.98	6.21
36	5.31	979	1.02	4.70	0.61	6.16
38	5.53	1308	1.36	4.50	0.57	6.15
40	6.08	1459	1.51	3.70	0.48	6.21

**Annexe 7. Valeurs propres**

<b>Taxons</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Pinus Dipl.	0.686	-0.828	-0.256
Pinus Hapl.	1.080	-1.730	-0.050
Picea	1.439	-0.348	-0.483
Tsuga	-1.525	0.547	0.069
Thuja/Jun	-0.082	0.247	-1.136
ACER	-1.216	0.977	-0.169
Ostrya/Carpinus	0.652	-0.238	1.274
Betula	-0.338	0.716	0.019
Fagus	-1.431	1.078	0.134
Quercus	0.481	-0.692	-0.807
Alnus	0.842	0.572	1.912
Myrica	-0.030	0.823	1.225
Salix	0.924	1.044	1.953
Ambrosie	1.356	1.488	-1.006
Gramineae	1.347	1.523	-0.995
Chenopodiaceae	1.077	1.735	-0.784
Spores	0.537	-0.196	1.222
Valeur propre	0.259	0.127	0.085

Valeurs propres (variance expliquée) et résultats (loadings) de l'analyse en composantes principales basées sur les données des pourcentages polliniques du lac Brûlé.

<b>Facteur</b>	<b>Valeur propre</b>
1	0.259297
2	0.126765
3	0.0845937
4	0.0801624
5	0.0695413
6	0.0637862
7	0.0531886
8	0.0506508
9	0.0427105
10	0.0391958

Valeurs propres pour chacun des axes de l'analyse des composantes principales.

Annexe 8. Frottis sédimentaires

			Composantes biogéniques											
An AD	Lamine	Transect	Restes silicieux			Matières organiques				Invertébrés			Arthropodes	
			Diatomées centriques	Diatomées pennées	Spicule d'éponge	Phytolithes	Aquatiques amorphes(%)	Plantes vasculaires (%)	Charbons	Pollen	Fragmenst d'insectes < 60 µm	Fragments d'insectes > 60 µm	Ostracodes	Cladocera
1385	Sombre	1	11	14	2	4	10	3	2	12	1	2	0	3
		2	12	16	2	2	10	3	4	14	3	2	0	10
		3	20	19	3	3	15	4	2	14	0	1	0	5
	Claire	1	32	20	10	3	10	11	1	17	5	3	6	7
		2	46	25	6	3	10	15	2	26	1	2	1	4
		3	33	18	10	1	10	22	23	19	5	1	3	5
1505	Sombre	1	24	22	6	2	7	6	2	33	5	3	1	11
		2	50	39	3	2	7	6	0	18	4	1	0	4
		3	23	24	5	3	10	5	0	22	4	4	2	3
	Claire	1	59	28	3	1	8	4	2	18	0	4	0	9
		2	75	27	6	2	7	4	0	10	2	7	0	4
		3	69	39	2	0	10	3	2	17	0	3	1	5
1280	Sombre	1	73	67	6	2	7	4	6	17	2	3	0	2
		2	47	31	7	1	10	8	3	26	10	6	0	5
		3	75	57	3	3	7	4	2	15	6	5	1	4
	Claire	1	124	63	9	5	10	4	1	18	4	4	3	7
		2	132	47	8	3	10	7	2	31	6	6	2	7
		3	98	49	2	0	15	4	0	5	7	6	0	7
1355	Sombre	1	13	16	4	1	3	2	13	3	3	3	0	0
		2	14	20	5	2	5	3	9	16	3	2	0	3
		3	9	18	2	0	5	3	8	4	2	2	0	0
	Claire	1	47	40	10	3	10	3	7	8	2	5	1	11
		2	66	40	3	5	12	6	4	13	1	4	3	8
		3	43	41	3	2	7	7	4	6	4	3	2	4

An AD	Lamine	Transect	Composantes clastiques				Composantes carbonatées		
			Texture du sol (%)			Autre (%)	%		
			Argiles	Limons	Sables		Calcite	Vivianite	Aragonite
1385	Sombre	1	2	1	0	1	1	1	0
		2	1	1	0	1	1	1	0
		3	1	1	0	0	1	2	0
	Claire	1	1	1	0	0	1	1	0
		2	1	1	0	0	1	1	0
		3	2	1	0	0	1	1	0
1505	Sombre	1	1	0	0	0	0	1	0
		2	1	0	0	0	0	0	0
		3	2	0	0	0	1	1	0
	Claire	1	2	1	0	0	1	1	0
		2	1	1	0	1	0	0	0
		3	1	1	0	0	1	0	0
1280	Sombre	1	1	1	0	0	1	1	0
		2	1	0	0	0	1	0	0
		3	1	0	0	0	1	0	0
	Claire	1	1	0	0	0	1	0	0
		2	1	1	0	0	1	1	0
		3	1	1	0	0	1	0	0
1355	Sombre	1	1	1	0	0	0	1	1
		2	1	1	0	0	1	1	1
		3	1	0	0	0	0	1	1
	Claire	1	1	1	0	0	1	1	1
		2	1	0	0	0	1	1	1
		3	1	1	0	1	0	1	1

Lamines distinctives		Composantes biogéniques									
		Restes silicieux (%)				Matières organiques (%)				Invertébrés (%)	Arthropodes (%)
An AD	Vue	Diatomées centriques	Diatomées pennées	Spicule d'éponge	Phytolithes	Aquatiques amorphes	Plantes vasculaires	Charbons	Pollen	Fragments d'insectes	Cladocera
1615	1	0	15	0	0	3	0	0	0	0	0
	2	0	12	1	0	15	0	0	1	0	0
	3	1	17	0	0	10	0	0	0	1	0
	4	1	17	0	0	5	0	0	0	0	0
	5	0	15	0	0	20	0	0	1	2	0
	6	0	7	0	0	5	0	0	0	0	0
	7	0	7	0	0	7	0	1	0	0	0
	8	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0
	9	0	7	0	0	10	0	0	1	2	0
1030	1	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0
	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	5	0	0	0	1	0
	4	0	0	0	0	7	0	0	1	5	0
	5	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0
	6	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0
	7	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0
	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	9	0	1	0	0	5	0	0	1	0	0
1650	1	1	1	0	0	5	0	0	1	1	0
	2	1	1	0	0	3	0	0	0	2	0
	3	1	0	0	0	5	0	0	1	0	0
	4	1	0	1	0	10	3	0	0	4	0
	5	1	1	0	0	7	0	0	0	2	0
	6	1	1	0	0	3	0	0	1	0	0
	7	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	8	0	1	1	0	5	0	0	1	5	0
	9	0	0	0	0	7	1	0	1	0	0
1350	1	1	15	0	0	5	0	1	1	0	0
	2	2	15	0	0	3	0	0	0	0	0
	3	1	10	0	0	5	0	0	0	0	0
	4	1	10	0	0	7	0	0	0	0	0
	5	3	12	0	0	5	0	0	1	0	0

Lamines distinctives		Composantes clastiques			Composantes carbonatées	
An AD	Vue	Texture du sol (%)			%	
		Argiles	Limons	Sables	Calcite	Vivianite
1615	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	0	0
	3	0	0	3	0	0
	4	0	1	0	0	1
	5	1	0	0	1	0
	6	1	0	0	0	0
	7	0	0	2	0	1
	8	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0
1030	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0
1650	1	1	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	2	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	1	0
	9	2	0	0	0	0
1350	1	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0
	6	0	1	0	0	0