

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR

ISABELLE SIMARD

BACHELIÈRE ÈS SCIENCES

HISTOIRE DES ÉPIDÉMIES DE LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE
L'ÉPINETTE (*CHORISTONEURA FUMIFERANA*) DANS L'ARCHIPEL-DE-
MINGAN PAR ANALYSES MACROFOSSILES ET DENDROCHRONOLOGIQUES

NOVEMBRE 1999



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

Les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou TBE (*Choristoneura fumiferana* Clem.) des deux derniers siècles sont bien connues grâce à la dendrochronologie. L'analyse macrofossile d'humus forestier fournit l'opportunité de remonter plus loin dans le temps et ainsi de retracer une partie de l'histoire des épidémies de la TBE jusqu'à présent méconnue. En période épidémique, le nombre élevé de larves de TBE se nourrissant du feuillage de sapins ou d'épinettes produit une fine pluie de déjections qui s'accumulent dans les sols forestiers. L'étude de la distribution verticale des déjections de la tordeuse a été réalisée sur trois profils d'humus de 47 à 65 cm d'épaisseur, prélevés jusqu'à l'horizon minéral sur deux îles de l'Archipel-de-Mingan. Les analyses macrofossiles détaillées effectuées ont permis d'affirmer que le sapin baumier et l'épinette blanche dominant la végétation des îles depuis leur émergence et que la TBE aurait été présente dans l'archipel depuis plus de 1200 ans B.P. Des pics d'abondance de déjections de la TBE ont été observés pour les trois profils. Les pics observés près de la surface des profils, correspondant à des âges modernes, ont pu être associés aux épidémies ayant eu lieu lors du 20^e siècle. Les données obtenues par analyses macrofossiles sont toutefois fragmentaires. L'étude des déjections de la TBE a permis d'identifier de façon certaine les épidémies survenues à la fin du 20^e siècle. La courbe de croissance des épinettes blanches de la région de Mingan a quant à elle permis de retracer trois siècles d'épidémies (1758, 1819, 1878, 1909 et 1978). La comparaison des données macrofossiles et dendrochronologiques a été faite pour le dernier siècle.

REMERCIEMENTS

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé lors de ma maîtrise, plus particulièrement M. Hubert Morin, les gens du laboratoire d'écologie végétale de l'UQAC, ceux du laboratoire Jacques-Rousseau de l'Université de Montréal, le Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale et, tout spécialement, Louis Dieumegarde pour l'ensemble de son œuvre.

«Rien ne grandit, rien ne s'élance que dans la libre atmosphère des discussions contradictoires... Je bois à la santé de ceux qui m'ont aidé, encouragé; et si, comme je l'espère, il en est ici qui m'ont combattu, je bois à leur santé : ils ne m'ont pas été moins utiles»

Edmond Rostand

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	vii
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 RÉGION D'ÉTUDE.....	6
2.1 Localisation et brève description des îles à l'étude.....	7
2.2 Climat.....	9
2.3 Géologie.....	9
2.3.1 Les calcaires.....	10
2.3.1.1 Podzol humique.....	10
2.3.2 Les dolomies	10
2.3.2.1 Folisol.....	11
2.4 Végétation.....	12
2.4.1 Île à Bouleaux du Large.....	12
2.4.2 Île Sainte-Geneviève.....	12
2.5 Perturbations.....	13
2.5.1 Chablis.....	13
2.5.2 Coupes.....	13
2.5.3 Cormorans.....	14
2.5.4 Feux.....	14
2.5.5 Épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	14
CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	16
3.1 Choix des sites d'échantillonnage	17
3.2 Relevés de végétation	17
3.3 Analyses dendrochronologiques	20

3.3.1	Récolte et préparation des échantillons.....	20
3.3.2	Analyses des cernes de croissance.....	20
3.4	Analyses macrofossiles.....	21
3.4.1	Échantillonnage des profils de sol.....	21
3.4.2	Analyses des échantillons.....	22
3.4.3	Stratigraphie.....	22
3.4.4	Datations au ^{14}C	22
3.4.5	Déjections de la TBE.....	23
3.4.6	Capsules céphaliques.....	24
CHAPITRE 4	RÉSULTATS.....	25
4.1	Végétation de surface.....	26
4.2	Analyses dendrochronologiques	26
4.3	Stratigraphie des profils de sol	29
4.4	Datation ^{14}C des profils de sol.....	29
4.5	Pièces macrofossiles	32
4.5.1	Macrorestes d' <i>Abies balsamea</i> et <i>Picea</i> sp. retrouvées dans les profils.....	32
4.5.2	Déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.....	34
4.5.2.1	Identification des déjections.....	37
4.5.2.1	Dénombrement et distribution des déjections.....	38
4.5.3	Capsules céphaliques.....	39
CHAPITRE 5	DISCUSSION.....	41
5.1	Dendrochronologie des épidémies de la TBE.....	42
5.2	Stratigraphie et datation des profils de sols.....	45
5.3	Historique d' <i>Abies balsamea</i> et <i>Picea</i> sp.	47
5.4	Distribution des déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette : histoire des épidémies ?.....	49
CHAPITRE 6	CONCLUSION.....	54
	RÉFÉRENCES.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Relevés de végétation des strates arborescentes, arbustives et herbacées des sites BOULA1, STGE1 et STGE2	27
Tableau 2.	Dates ^{14}C obtenues par spectrométrie de masse pour les profils BOULA1, STGE1 et STGE2.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Localisation de la région étudiée, l'Archipel-de-Mingan.....	8
Figure 2.	Coupe schématique d'un podzol humique et d'un folisol retrouvés dans l'Archipel-de-Mingan	11
Figure 3.	Localisation du site d'échantillonnage sur l'île à Bouleaux du Large.....	18
Figure 4.	Localisation des sites d'échantillonnage sur l'île Sainte-Geneviève	19
Figure 5.	Courbes de croissance indicées des épinettes blanches de l'Archipel-de-Mingan et des épinettes sp. de la Gaspésie.....	28
Figure 6.	Stratigraphie des profils de sol BOULA1, STGE1 et STGE2.....	30
Figure 7.	Relation entre l'âge et la profondeur des humus des profils BOULA1, STGE1 et STGE2.....	32
Figure 8.	Diagramme des pièces macrofossiles d' <i>Abies balsamea</i> et <i>Picea glauca</i> retrouvées dans le profil BOULA1	34
Figure 9.	Diagramme des pièces macrofossiles d' <i>Abies balsamea</i> et <i>Picea glauca</i> retrouvées dans le profil STGE1	35
Figure 10.	Diagramme des pièces macrofossiles d' <i>Abies balsamea</i> , <i>Picea glauca</i> et <i>P. mariana</i> retrouvées dans le profil STGE2.....	36
Figure 11.	Résidus de digestion fossiles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette..	38
Figure 12.	Distribution des déjections de la TBE et des capsules céphaliques de <i>Choristoneura</i> en fonction de la profondeur pour les profils BOULA1, STGE1 et STGE2.....	40

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) sont des perturbations naturelles qui jouent un rôle important dans la dynamique des sapinières de l'est de l'Amérique du Nord (Blais, 1984; MacLean 1984). Désastre économique pour l'exploitation forestière, les épidémies de la tordeuse de bourgeons de l'épinette (TBE) assurent toutefois le rajeunissement des sapinières en éliminant les arbres matures et âgés (Baskerville, 1975; Blais, 1983b; Mattson *et al.*, 1991), 1988). Cet insecte se nourrit préférentiellement de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et affecte également l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench.) Voss), l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) (Blais, 1957, 1961; Greenbank, 1963; Hudes et Shoemaker, 1984; Martineau, 1985). En période épidémique, la défoliation causée par la TBE entraîne une réduction importante de la croissance des arbres hôtes pouvant conduire à leur mort si cette défoliation subsiste plusieurs années (Blais, 1985, MacLean, 1984).

Les niveaux de population de la tordeuse au Québec ont oscillé de façon plus ou moins régulière au cours des deux derniers siècles, atteignant des niveaux épidémiques à trois occasions lors des 19^e (1811, 1835 et 1870) et 20^e siècles (1911, 1944 et 1974) (Blais 1965, 1983b; Krause 1997; Royoma, 1984). Certains auteurs suggèrent que le cycle épidémie-régénération des forêts hôtes serait présent depuis plusieurs milliers d'années, soit depuis la dernière déglaciation (Baskerville, 1975, Blais 1965). La fréquence des épidémies aurait toutefois augmenté au cours du dernier siècle suite aux interventions de l'homme c'est-à-dire la répression des feux, les coupes, et l'utilisation d'insecticides (Blais 1965).

La dendrochronologie permet de retracer les réductions de croissance attribuables aux conditions climatiques ou aux épidémies. Ces dernières produisent des cernes repères caractéristiques identifiables (Blais, 1954, 1962). De nombreuses études dendrochronologiques ont décrit les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette survenues lors des deux derniers siècles (Blais 1954, 1957, 1958, 1962, 1965, 1981; Krause et Morin, 1995; Morin, 1994; Morin et Laprise, 1990, 1993). Elles sont toutefois limitées dans le temps par l'âge des arbres hôtes. Pour contrer ce problème, Krause (1996, 1997) utilisa des échantillons d'épinettes provenant de la charpente d'églises construites entre 1864 et 1924 au Saguenay. Elle a pu ainsi remonter jusqu'au 17^e siècle.

La paléoécologie offre des méthodes alternatives qui permettent de remonter encore plus loin dans le temps. Ainsi, à l'aide de l'analyse macrofossile, il est possible de déceler les traces laissées dans les sédiments et les sols par les plantes ou autres organismes vivants. Ce type d'analyse a fréquemment été utilisé pour décrire l'histoire de la végétation (Birks, 1993; Davis, 1983, 1985; MacDonald, 1983; Wainman *et al.*, 1987), ou pour déterminer la fréquence des feux (MacDonald *et al.*, 1991; Larsen et MacDonald., 1998). Quelques études ont utilisé des restes d'insectes, plus particulièrement de coléoptères, pour décrire des paléoenvironnements ou caractériser les changements climatiques (Elias, 1982; Morgan *et al.*, 1982, Lavoie *et al.*, 1997).

Peu d'études paléoécologiques ont été consacrées aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Des recherches effectuées sur des sédiments lacustres ont permis

de retrouver des capsules céphaliques du genre *Choristoneura*. Les capsules étaient peu abondantes et n'ont pu être identifiées à l'espèce (Anderson *et al.*, 1986; Davis et Hoskins, 1980). Potelle (1995) utilisa l'analyse macrofossile afin de déterminer les traces que laissent les épidémies de la TBE dans les humus forestiers. Il trouva quelques capsules céphaliques et des chrysalides. Les macrorestes les plus abondants et les mieux conservés qu'il découvrit pour indiquer le passage d'une épidémie furent les résidus de digestion de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Lorsque les populations de TBE atteignent des niveaux épidémiques, les déjections des larves tombent au sol comme une fine pluie. Ces crottins s'accumulent dans les humus et forment des couches distinctes. On a déjà réussi à associer ces couches aux épidémies du 20^e siècle (Potelle, 1995).

L'humus de sapinières fournit une plus grande abondance de pièces macrofossiles résultant d'épidémies que les sédiments lacustres ou tourbeux. La décomposition et l'altération des pièces y sont toutefois plus importantes. Mais ils offrent tout de même de bonnes conditions d'accumulation des pièces macrofossiles. Leur pH est faible, leur température est fraîche en région boréale et ils sont relativement bien stratifiés étant pauvres en microfaune (Dijkstra et Van Mourik, 1996; Filion, 1977; Ponge, 1984). Dans l'Archipel-de-Mingan, les conditions climatiques fraîches et humides favorisent l'accumulation de la matière organique sur de grandes profondeurs. Une étude préliminaire réalisée dans l'archipel a permis d'obtenir un profil d'humus d'environ 80 cm d'épaisseur dont la base a été datée à 5000 ans B.P. (Valcourt, communication personnelle).

Les macrorestes sont des indices *in situ* du passage d'une perturbation. En raison de leurs tailles, ils se déposent près de leur point d'origine, plus particulièrement en milieu terrestre, où il n'y a pas de transport par un cours d'eau (Birks et Birks, 1980). Les déjections de la TBE retrouvées dans les humus témoignent donc du passage local d'une épidémie. Elles s'accumuleraient au sol près des troncs des arbres affectés par l'insecte (Bean, 1957). En outre, les résidus de digestion de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont faciles à identifier. La majorité des larves de lépidoptères produisent des déjections spécifiques à l'espèce, au genre ou à la famille (Volney *et al.*, 1983).

L'hypothèse retenue pour ce projet est que les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette laissent dans les sols forestiers des traces de leur passage. Les traces les plus abondantes seraient les résidus de digestion et seraient datables par la méthode du ^{14}C . L'objectif principal est d'utiliser le potentiel de l'analyse macrofossile afin de retracer les épidémies de la TBE dans l'Archipel-de-Mingan, Québec. L'objectif secondaire est de confirmer une partie de cet historique par des analyses dendrochronologiques.

CHAPITRE 2

RÉGION D'ÉTUDE

2.1 LOCALISATION ET BRÈVE DESCRIPTION DES ÎLES À L'ÉTUDE

Les deux îles à l'étude font partie de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan situé dans le Golfe du Saint-Laurent à une distance d'environ 4 km de la Moyenne Côte Nord (Grondin *et al.*, 1986a). L'Archipel-de-Mingan a été choisi comme lieu d'étude car il offre des humus d'une épaisseur importante, jusqu'à 80 cm, pouvant être très âgés. Il s'étend sur une distance de 175 km et est composé de 36 îles et de 900 îlots et récifs (Paradis *et al.*, 1989). L'île Sainte-Geneviève est située à l'extrémité est de l'archipel (50° 14' 43"N, 63° 04' 03"W) alors que l'île à Bouleaux du Large se retrouve dans la partie ouest (50° 13' 18"N, 63° 59' 26"W) (figure 1).

L'île Sainte-Geneviève et l'île à Bouleaux du Large sont de faible superficie, soit respectivement 531,8 ha et 229,3 ha. Ces sont des îles forestières. La pente de leurs sols forestier est en moyenne de 10%. Leur drainage est modéré. Les îles ont un relief structural en forme de cuesta orientée du nord vers le sud (Parc Canada, 1992).

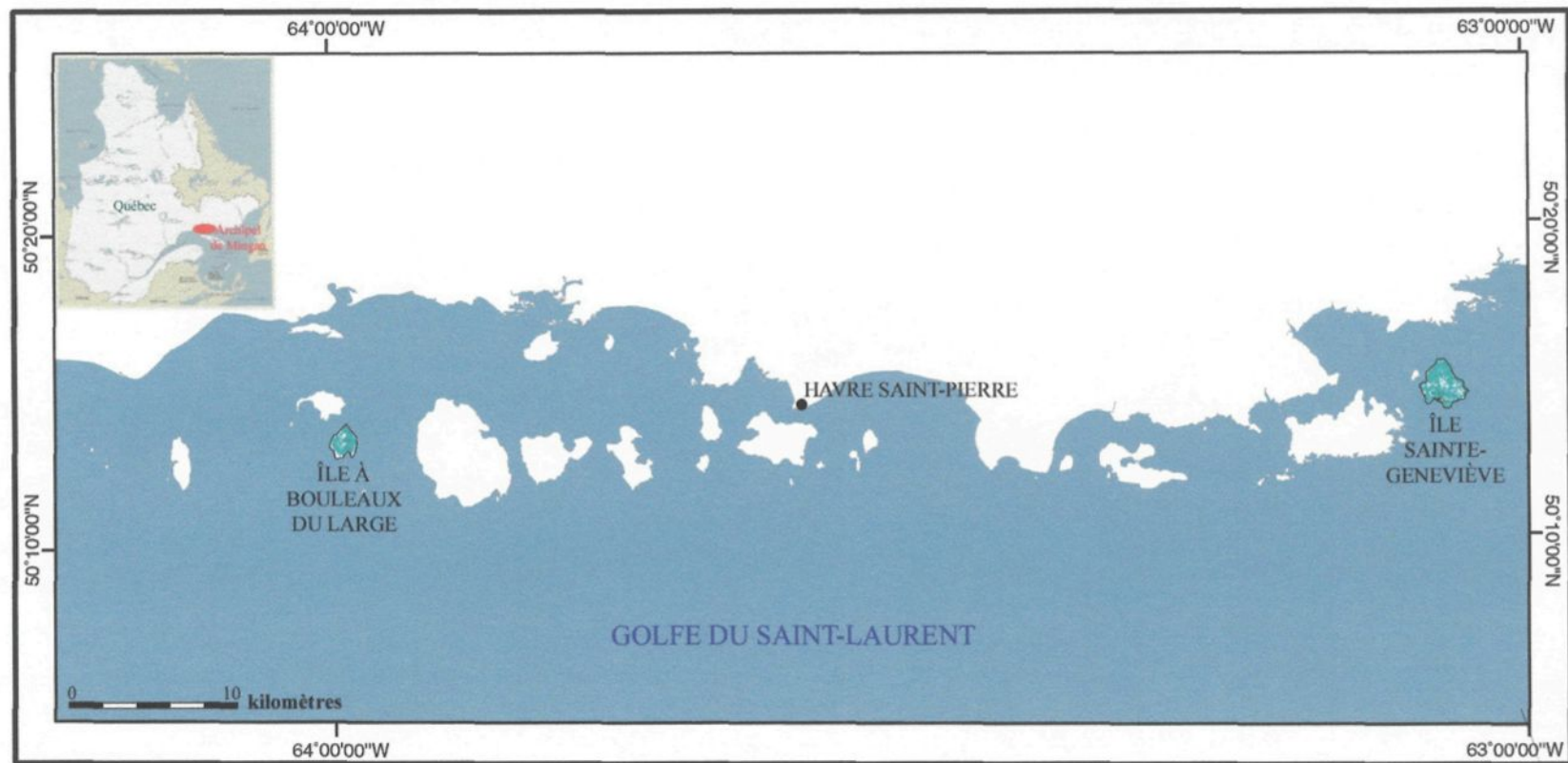


Figure 1. Localisation de la région étudiée, l'Archipel-de-Mingan.

2.2 CLIMAT

Les conditions climatiques prévalant dans l'Archipel-de-Mingan sont caractéristiques du climat boréal maritime, avec quelques zones influencées par un climat héli-arctique. La température moyenne annuelle est légèrement supérieure à 0 °C. L'écart de température entre le mois le plus chaud (15 °C) et le mois le plus froid (-15 °C) est réduit en raison de la proximité de la mer. Les précipitations annuelles atteignent environ 1050 mm. La saison de croissance végétale est relativement courte, soit de 140-150 jours. De plus, la très forte humidité atmosphérique régnant dans l'Archipel-de-Mingan ralentit les processus de décomposition de la matière organique, faisant en sorte que l'humus ne cesse de s'accumuler en des dépôts d'épaisseurs considérables très intéressants pour ce type de projet (Grondin *et al.*, 1986a).

2.3 GÉOLOGIE

L'assise rocheuse des îles de l'Archipel-de-Mingan est constituée de roches sédimentaires formées il y a plus de 450 millions d'années. On retrouve deux types d'affleurement dans l'archipel, soit les calcaires de la formation de Mingan au sud de l'Archipel et les dolomies de la formation Romaine, dans la partie nord de l'Archipel. De ces deux formations découlent des dépôts de surface et des sols de types différents (Grondin *et al.*, 1986a).

2.3.1 *Les calcaires*

Les roches sédimentaires calcaires se retrouvent au sud de l'archipel. L'île à Bouleaux du Large est composée de ce type d'affleurement. De nature friable, les calcaires de cette île ont été broyés et érodés par l'action de la mer et du gel-dégel entraînant la formation d'épais dépôts de plage pouvant atteindre plus de 1,5 m de profondeur (Grondin *et al.*, 1986a). Les sols surmontant de tels dépôts sont du type podzol humique d'après le système canadien de classification des sols (Agriculture Canada, 1987).

2.3.1.1 *Podzol humique*

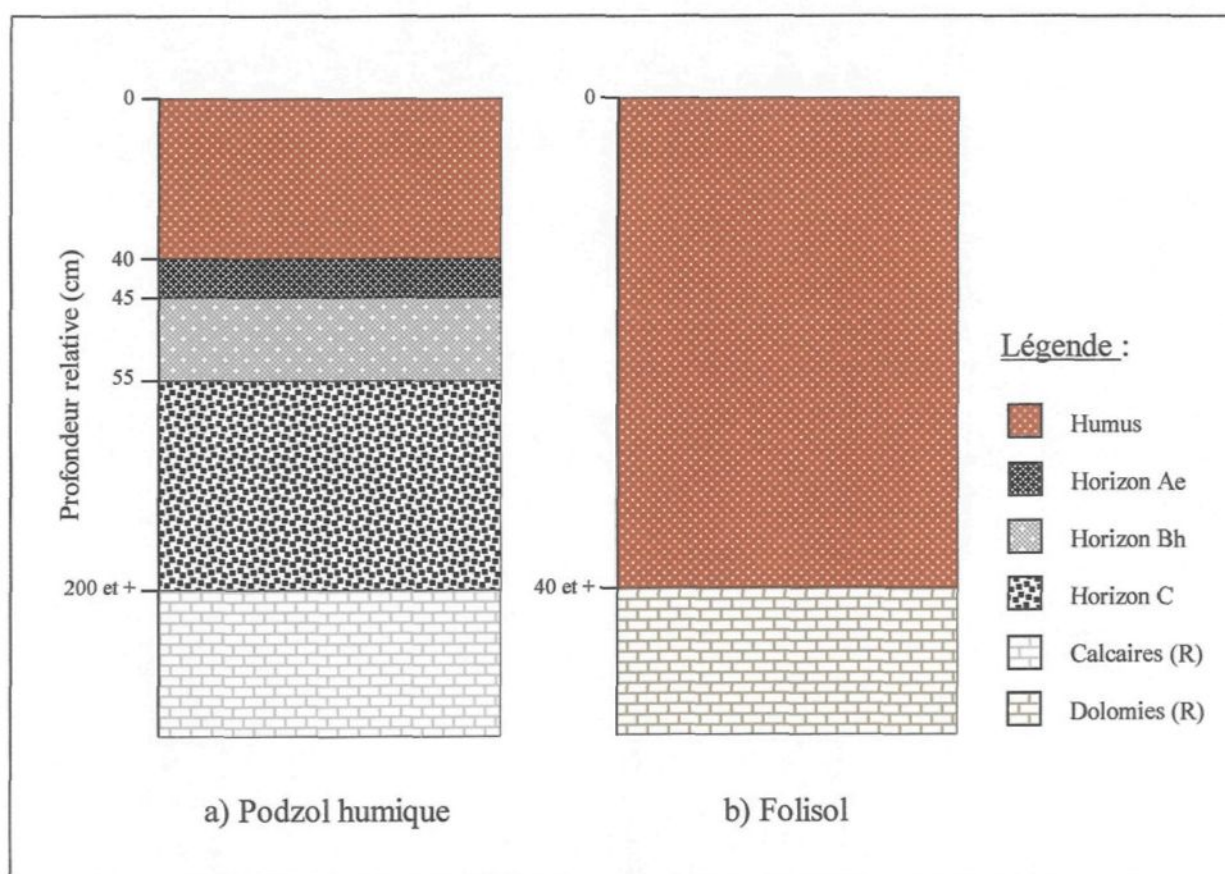
Les podzols humiques que l'on retrouve sur l'île à Bouleaux du Large sont caractérisés par une épaisse couche d'humus (H) d'en moyenne 40 cm de profondeur, d'un horizon minéral d'éluviation (Ae) noirci par l'accumulation des acides humiques provenant des eaux d'infiltration et d'un horizon d'accumulation (Bh) riche en matière organique d'environ 15 cm d'épaisseur. Ces horizons surmontent l'épais dépôt de gravier de plage (C) puis les calcaires de la formation de Mingan (R) (Grondin *et al.*, 1986a) (figure 2).

2.3.2 *Les dolomies*

Les îles de la partie nord de l'Archipel-de-Mingan, dont l'île Sainte-Geneviève, sont caractérisées par des affleurements de dolomies de couleur brune foncée. Ces sont des roches dures, peu friables, ne formant donc pas de dépôts meubles. L'humus forestier repose directement sur le roc, ce qui est typique des folisols (Agriculture Canada, 1987, Grondin *et al.*, 1986b).

2.3.2.1 Folisol

Ce type de sol est composé d'une épaisse couche d'humus (H) s'accumulant sur le substrat rocheux (R). L'humus atteint en moyenne une profondeur de 40 cm. Les folisols profonds (plus de 40 cm d'épaisseur), comme on en retrouve dans l'île Sainte-Geneviève, sont formés dans des écosystèmes frais et humides (Agriculture Canada, 1987) (figure 2).



2.4 VÉGÉTATION

Les forêts résineuses à dominance de sapin occupent environ 60% de la superficie des îles à l'étude. Ces îles font partie de la région écologique de la sapinière à épinette noire (9f). On y retrouve également des pessières noires à mousse et des pessières à sapin (Thibeault, 1985).

2.4.1 Île à Bouleaux du Large

La sapinière à *Pleurozium schreberi* et épinette blanche domine sur cette île. On retrouve aussi la sapinière à *Dryopteris austriaca* où pousse également *Oxalis montana*. Les peuplements matures et non perturbés atteignent une hauteur de 10 m et une densité variant entre 60 et 80%. Les anciennes cormorandières sont peuplées par la sapinière à bouleau blanc et *Epilobium angustifolium*. Quelques pessières blanches occupent le sud-est de l'île (Grondin *et al.*, 1983; Grondin *et al.*, 1986a).

2.4.2 Île Sainte-Geneviève

Les forêts de l'île Sainte-Geneviève sont principalement représentées par la sapinière à *Pleurozium schreberi* et épinette blanche. Dans les peuplements récemment perturbés par des chablis, la régénération abonde. La densité de ces forêts est supérieure à 80% et les arbres ne dépassent pas 8 m de haut (Grondin *et al.*, 1983). Lorsque le drainage des folisols se détériore, les peuplements deviennent des sapinières à épinette noire ou des sapinières à lédon du Groenland. On retrouve également une bétulaie blanche à l'est de l'île

dont l'origine serait une sapinière perturbée par le feu et les cormorans (Grondin *et al.*, 1983; et Potvin *et al.*, 1996).

2.5 PERTURBATIONS

Différents types de perturbations affectent les sapinières de l'Archipel-de-Mingan.

2.5.1 Chablis

Des chablis d'envergure importante ont perturbé les sapinières de l'île Sainte-Geneviève entraînant une importante régénération en sapin. Des chablis plus dispersés ont créé des éclaircies dans les sapinières matures, d'où l'apparition de *Dryopteris spinulosa* suite à une plus grande quantité de lumière au sol. L'île à Bouleaux du Large a également subi quelques chablis, de moindre importance toutefois (Grondin *et al.*, 1983, 1986 b).

2.5.2 Coupes

Il y aurait eu des coupes à blanc dans l'archipel jusqu'en 1950, plus particulièrement sur les îles rapprochées de la côte. La plupart de ces coupes se sont régénérées en sapinière à *Pleurozium schrebrei*. Toutefois, à quelques endroits, notamment sur l'île Sainte-Geneviève, les coupes ont entraîné l'apparition d'herbaçaies dominées par *Epilobium angustifolium*, alors que sur l'île à Bouleaux du Large, quelques petites sapinières à dryoptéride et oxalide proviendraient de coupes à blanc (Grondin *et al.*, 1983).

2.5.3 Cormorans

Dans certaines îles de l'Archipel-de-Mingan, notamment Sainte-Geneviève et Bouleaux du Large, les cormorans à aigrettes nichent à la cime des arbres. Les excréments de ces oiseaux sont très riches en ammoniacque, ce qui a pour effet de détruire la végétation environnante. Dans les cormorandières actives, le sol est pratiquement dénudé de végétation, alors que dans les anciennes cormorandières, les sapinières à *Pleurozium schreberi* et épinette blanche seraient remplacées par des communautés pionnières dominées ou sous-dominées par *Epilobium angustifolium*, puis par la sapinière à *Epilobium angustifolium* (Grondin *et al.*, 1983 et 1986 b, Potvin *et al.*, 1996).

2.5.4 Feux

Les données historiques sur les feux d'origine naturelle ou humaine débutent en 1920 et sont fragmentaires. Elles ne mentionnent aucun feu pour les îles Sainte-Geneviève et Bouleaux du Large (Paradis *et al.*, 1989). Une étude plus récente (Potvin *et al.* 1996) a toutefois permis de découvrir des charbons de bois dans une bétulaie blanche de l'île Sainte-Geneviève à 11 cm de la surface et au contact du dépôt de plage. L'horizon de charbon situé à 11 cm de profondeur correspondrait à un feu survenu vers la fin des années 1940, alors que l'autre serait beaucoup plus âgé.

2.5.5 Épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Peu d'informations sont disponibles relativement aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette survenues dans le secteur de l'Archipel-de-Mingan. Blais (1983a) a

étudié les impacts des épidémies de la TBE sur les forêts de la Côte Nord (de Tadoussac à Havre Saint-Pierre). Il est arrivé à la conclusion qu'elles n'avaient été perturbées par aucune autre épidémie d'envergure que celle de 1978. Fait intéressant, Potvin *et al.* (1996) ont découvert, dans le cadre de leur étude de l'impact du cormoran à aigrette sur les forêts, des réductions de croissance chez l'épinette blanche et le sapin pouvant découler d'épidémies de cet insecte. Ces réductions auraient eu lieu entre 1941 et 1952, puis entre 1972 et 1985.

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 CHOIX DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les îles à Bouleaux du Large et Sainte-Geneviève de l'Archipel-de-Mingan ont été retenues dans le cadre de ce projet car elles sont dominées par des sapinières à *Pleurozium schreberi* et offrent d'épais dépôts d'humus. Des dates ^{14}C remontant à plus de 5000 ans B.P. provenant d'une étude en cours (Valcourt, comm. pers.) sont également disponibles pour ces îles. Pour chacune des îles à l'étude, un site dans une sapinière dense a été sélectionné. De plus, un site dans une ancienne cormorandière sur l'île Sainte-Geneviève a été choisi à titre comparatif (figures 3 et 4). La sélection des sites reposait sur l'épaisseur de leur humus. Des sondages ont permis de déterminer les endroits où l'humus atteignait une profondeur maximale.

3.2 RELEVÉS DE VÉGÉTATION

Des relevés de végétation ont été réalisés pour chacun des trois sites. L'abondance des différentes espèces végétales présentes dans les strates arborescentes, arbustives et herbacées a été évaluée selon les classes de recouvrement de Braun-Blanquet *et al.* (1972). Ces classes sont : + (<1%), 1 (1-5%), 2 (6-25 %), 3 (26-50%), 4 (51-75%), 5 (76-100%). Pour les trois sites, un quadrat de 10 m x 10 m a été délimité pour décrire la strate arborescente, un de 5m x 5m pour la strate arbustive, et un quadrat de 1 m x 1 m pour la strate herbacée.



Figure 3. Localisation du site d'échantillonnage sur l'île à Bouleaux du Large.

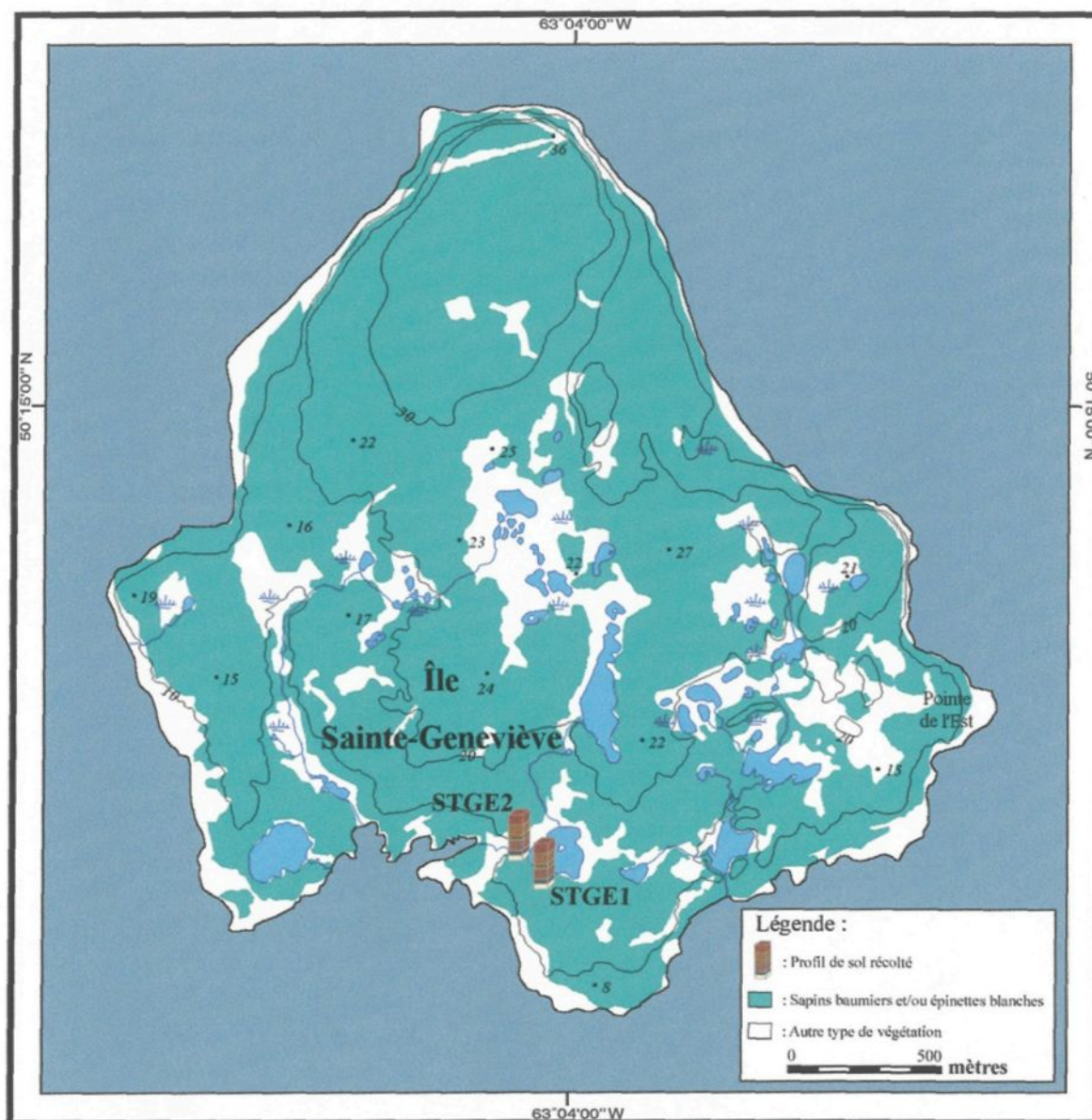


Figure 4. Localisation des sites d'échantillonnage sur l'île Sainte-Geneviève.

3.3 ANALYSES DENDROCHRONOLOGIQUES

3.3.1 Récolte et préparation des échantillons

Afin de déterminer la chronologie des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'Archipel-de-Mingan, 83 échantillons d'épinettes blanches ont été récoltés. Soixante-six d'entre eux ont été prélevés subjectivement, parmi les plus gros individus, le long de transects, sur l'île Sainte-Geneviève au cours des étés 1997 et 1998. Les 16 autres échantillons ont été récoltés sur la côte, près de Havre-Saint-Pierre, dans le cadre d'une étude antérieure (Potvin *et al*, 1996). Ils ont été extraits à l'aide d'une sonde de Pressler, à 30 cm du sol, d'arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) était supérieur à 3 cm. Un échantillon par arbre a été récolté. Par la suite, ils ont été collés sur des supports de bois puis sablés avec du papier émeri 80, 200 et 400 afin de mettre en évidence les cernes de croissance.

3.3.2 Analyses des cernes de croissance

Les cernes de croissance ont été dénombrés, puis mesurés à l'aide du micromètre Henson et du logiciel MacTrim™ (Stokes et Smiley, 1968; Fritts, 1976; Baillie, 1982). Les mesures ont été effectuées de l'écorce vers le cœur. Pour chaque échantillon, une courbe de croissance a été réalisée. Ces courbes ont été interdatées visuellement, *i.e.* en superposant deux graphiques à la fois sur une table lumineuse. Cette procédure permet de détecter les cernes manquants. Par la suite, l'interdatation visuelle a été vérifiée par le logiciel COFECHA (Holmes 1983). Une fois les courbes interdatées, une courbe de croissance moyenne standardisée des épinettes blanches a été faite à l'aide du logiciel ARSTAN

(Cook, 1985). Pour ce faire, une moyenne mobile de 70 ans a été utilisée. La standardisation a permis d'homogénéiser les largeurs de cernes en les transformant en valeurs relatives. Cette courbe moyenne a été comparée avec des courbes de croissances provenant d'autres régions du Québec pour lesquelles la chronologie des épidémies de la TBE est connue. La courbe de croissance standardisée des épinettes de la Gaspésie (Krause et Morin, 1999) a été retenue afin de mettre en évidence les épidémies ayant affecté l'Archipel-de-Mingan. Cette courbe présentait des périodes épidémiques similaires à celle obtenue pour l'Archipel-de-Mingan.

3.4 ANALYSES MACROFOSSILES

3.4.1 Échantillonnage des profils de sol

Un profil de sols de 20 cm x 20 cm a été prélevé dans chacun des trois sites à l'étude au cours de l'été 1997. Les profils de sol ont été dégagés à la pelle. Leur intégrité stratigraphique a été assurée par une structure de bois à trois côtés dépourvue de fond. Ils furent emballés dans des pellicules de plastique pour les protéger durant leur transport, puis congelés avant d'être coupés. Chacun des profils de sol a été divisé en quatre 10 cm x 10 cm à l'aide d'une scie à ruban. Par la suite, un des quatre 10 cm x 10 cm par profil fut coupé à tous les centimètres afin d'effectuer l'analyse macrofossile en fonction de la profondeur. Les échantillons ainsi obtenus n'avaient pas tous le même volume en raison de pertes et d'un léger manque de précision dû à la scie à ruban. Par contre, lors de leur analyse, les volumes de tous les échantillons ont été uniformisés à 100 cm³ à l'aide d'une règle de trois.

3.4.2 Analyses des échantillons

Les humus des trois profils de sol ont été analysés. Les profils de l'île Sainte-Geneviève ont été nommés STGE1 (sapinière) et STGE2 (ancienne cormorandière), alors que le profil prélevé sur l'île à Bouleaux du Large a reçu la nomination BOULA1. Chaque échantillon a été rincé à l'eau puis tamisé (Larouche, 1979). Les tamis utilisés avaient des mailles de 2 mm, 1 mm, 500 µm, 250 µm, 125 µm et 100 µm. L'observation des échantillons a été faite à 6x à l'aide d'une loupe binoculaire. Les pièces macrofossiles dont la taille était supérieure à 500 µm ont été identifiées puis dénombrées. Des diagrammes macrofossiles ont été réalisés pour chacun des profils à l'aide des logiciels Tilia et Tilia graph. Les déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette retrouvées dans les échantillons ont été dénombrées et conservées dans des fioles identifiées. Des diagrammes de leur abondance et de leur distribution ont été effectués.

3.4.3 Stratigraphie

La description stratigraphique des trois profils de sol a été réalisée à partir du système canadien de classification des sols (Agriculture Canada, 1987). Les transitions entre les horizons organiques L, F et H ont été déterminées. Pour le profil BOULA1, les horizons minéraux Ae et Bh ont également été identifiés.

3.4.4 Datations au ^{14}C

Afin d'avoir une approximation des époques auxquelles auraient eu lieu les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, trois échantillons par profil de sol ont été datés,

soit au 1/3, 2/3 et la base du profil. Des déjections de la TBE ont été utilisées pour les datations du 1/3 et du 2/3 des profils, alors qu'un fragment de sol fut employé pour la base. Environ une trentaine de déjections (>100 mg) ont été utilisées par datation. En raison de la plus faible abondance des crottins et de matière organique en profondeur, certaines datations ont été faites sur 2 cm. Les datations ont été effectuées par le laboratoire Isotrace de l'Université de Toronto selon la méthode de spectrométrie de masse (AMS : accelerator mass spectrometry). Les échantillons avaient été préalablement transformés en dioxyde de carbone par le laboratoire Hatch Isotope de l'Université d'Ottawa.

3.4.5 Déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Afin de confirmer l'identification des déjections de la TBE retrouvés dans les profils de sol, différentes comparaisons ont été effectuées. Tout d'abord, un échantillon bien conservé de déjection provenant de la surface d'un des profils de sol à été observé au microscope afin d'identifier les stomates des petits fragments de feuilles qu'il contenait. Les déjections avaient été préalablement fragmentées mécaniquement et chimiquement (immersion dans du KOH 10% pendant 10 minutes). Par la suite, les déjections fossiles retrouvées dans les profils ont été comparées avec des déjections récoltées au sol dans une sapinière lors de la dernière épidémie de TBE. Puis, elles ont été comparées morphologiquement et anatomiquement à des déjections provenant d'un élevage de larves de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Finalement, les déjections fossiles ont été comparées à des déjections provenant d'autres espèces de larves en élevage, notamment l'arpenteuse de la

pruche, la tordeuse à tête noire de l'épinette, la tenthrède à tête jaune de l'épinette et le diprion de Swaine.

3.4.6 Capsules céphaliques

Les capsules céphaliques retrouvées dans les profils de sol ont été conservées. Leur état d'altération a rendu difficile leur identification. Elle ont été comparées à des capsules récentes *Choristoneura fumiferana*.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4.1 VÉGÉTATION DE SURFACE

La végétation des sites BOULA1 et STGE1 était dominée principalement par *Abies balsamea* au niveau de la strate arborescente et arbustive. La strate herbacée de ces deux sites était composée de *Clintonia borealis*, *Trientalis borealis*, *Dryopteris spinulosa* et quelques autres espèces figurant au tableau 1. Le sol de ces deux sapinières était recouvert de mousse, plus particulièrement *Pleurozium schreberi*. La végétation de STGE2 différait totalement des autres sites. Il n'y avait pas de strate arborescente dominante. La majorité des arbres étaient morts à l'exception de quelques sapins. La strate herbacée était constituée principalement de *Dryopteris spinulosa*, *Epilobium angustifolium* et *Rubus idaeus*.

4.2 ANALYSES DENDROCHRONOLOGIQUES

La courbe de croissance standardisée des épinettes blanches de Mingan a été réalisée à partir de 83 carottes d'arbres (figure 5). Elle remonte jusqu'à l'année 1718. Elle a été comparée à la courbe de croissance standardisée des épinettes de la Gaspésie (Krause et Morin, 1999) dont les épidémies de la TBE sont bien connues. L'année de croissance la plus faible a été utilisée pour identifier les épidémies. Cette courbe a été construite à partir de 55 échantillons d'arbres vivants et d'échantillons provenant d'anciens bâtiments. Le nombre précis d'échantillons provenant des vieux bâtiments n'est pas disponible. Dix bâtiments ont été étudiés et environ 15 échantillons par bâtiments ont été prélevés.

Tableau 1. Relevés de végétation des strates arborescentes, arbustives et herbacées des sites BOULA1, STEG1 et STGE2.

Site	Strate	Espèce	Classe de recouvrement
BOULA1	Arborescente	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	4
	Arbustive	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	3
	Herbacée	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	1
		<i>Clintonia borealis</i> (Ait.) Raf.	2
		<i>Cornus canadensis</i> L.	2
		<i>Dryopteris spinulosa</i> (O.F. Muell.) Watt	+
		<i>Linnaea borealis</i> L.	+
		<i>Trientalis borealis</i> Raf.	2
STGE1	Arborescente	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	5
		<i>Betula papyrifera</i> Marsh.	+
		<i>Sorbus americana</i> Marsh.	+
	Arbustive	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	1
		<i>Sorbus americana</i> Marsh.	+
	Herbacée	<i>Clintonia borealis</i> (Ait.) Raf.	2
		<i>Dryopteris spinulosa</i> (O.F. Muell.) Watt	1
		<i>Maianthemum canadense</i> Desf.	+
		<i>Monotropa uniflora</i> L.	+
		<i>Trientalis borealis</i> Raf.	1
STGE2	Arborescente	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	1
	Herbacée	<i>Aralia nudicaulis</i> L.	+
		<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	+
		<i>Cornus canadensis</i> L.	1
		<i>Dryopteris spinulosa</i> (O.F. Muell.) Watt	3
		<i>Epilobium angustifolium</i> L.	2
		<i>Ribes glandulosum</i> Grauer	1
		<i>Rubus idaeus</i> L.	3
		<i>Streptopus roseus</i> Michx.	+
		<i>Trientalis borealis</i> Raf.	1

Classes de recouvrement : + (<1%), 1 (1-5%), 2 (6-25 %), 3 (26-50%), 4 (51-75%), 5 (76-100%)

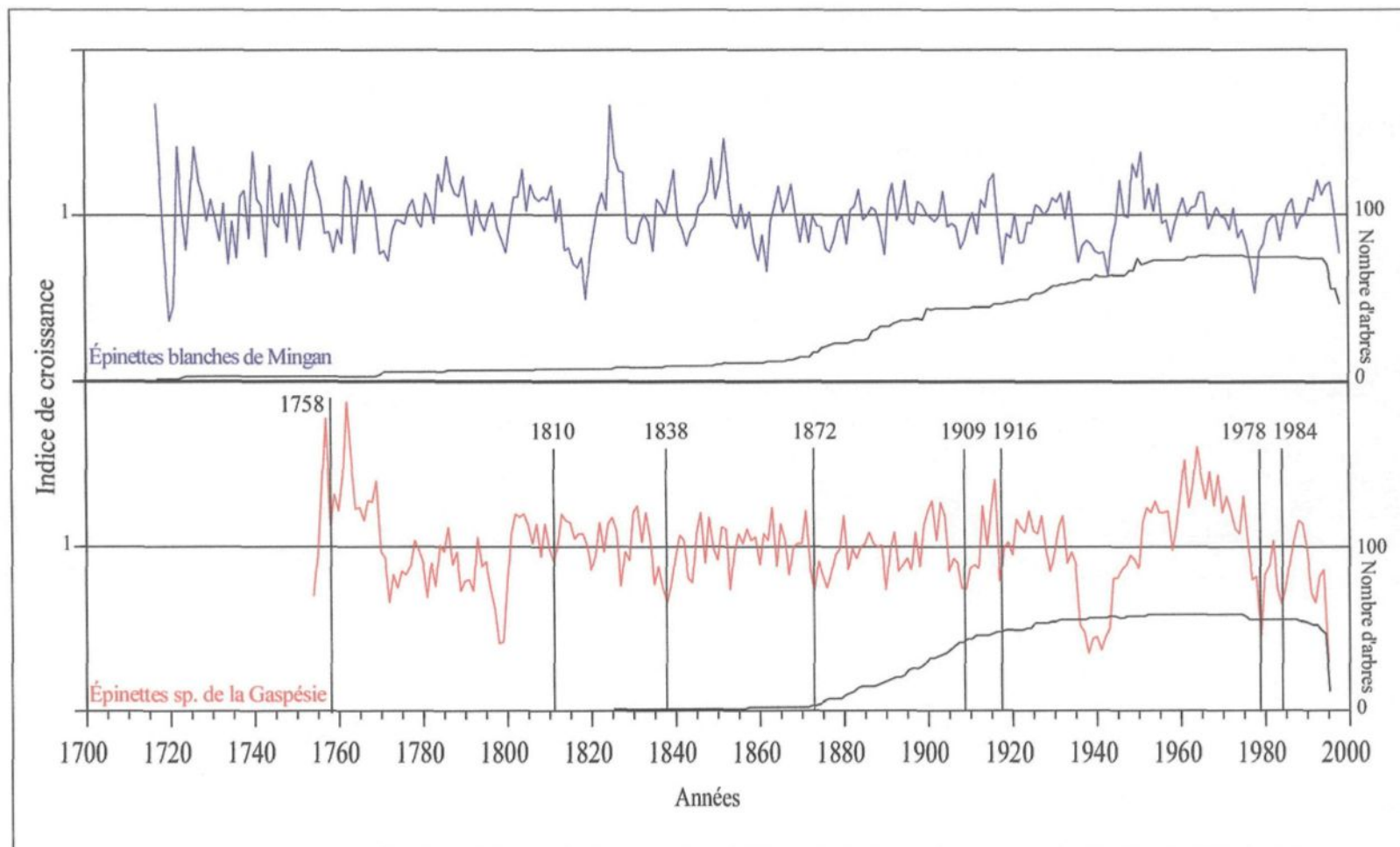


Figure 5. Courbes de croissance indicées des épinettes blanches de l'Archipel-de-Mingan et des épinettes sp. de la Gaspésie. Les lignes verticales indiquent les années de plus faible croissance lors des épidémies connues.

4.3 STRATIGRAPHIE DES PROFILS DE SOL

La stratigraphie des trois profils de sol est illustrée à la figure 6. Le profil BOULA1 a été prélevé jusqu'au contact du dépôt de plage (horizon C), soit jusqu'à 70 cm de profondeur. Il présentait les horizons caractéristiques d'un podzol humique (humus, Ae, Bh, C). La couche de matière organique atteignait 47 cm d'épaisseur. On y retrouvait les horizons organiques L, F et H présentant des degrés de décomposition et d'humification croissant avec la profondeur.

Les profils STGE 1 et STGE 2 avaient respectivement 62 et 65 cm de profondeur. Étant des folisols, ils étaient constitués d'une épaisse couche de matière organique, dans laquelle les trois horizons L, F et H étaient facilement repérables. Dans les trois profils, l'altération des pièces macrofossiles retrouvées augmentait en fonction de la profondeur. Il en va de même pour les fragments de bois découverts dans les humus. La stratigraphie des trois profils ne présentait pas de discontinuité.

4.4 DATATIONS ^{14}C DES PROFILS DE SOL

Trois dates par profil de sol ont été déterminées par spectrométrie de masse. Elles sont présentées à la figure 6 et dans le tableau 2. Elles sont exprimées en années BP ("before present"), soit par convention, leur âge avant 1950.

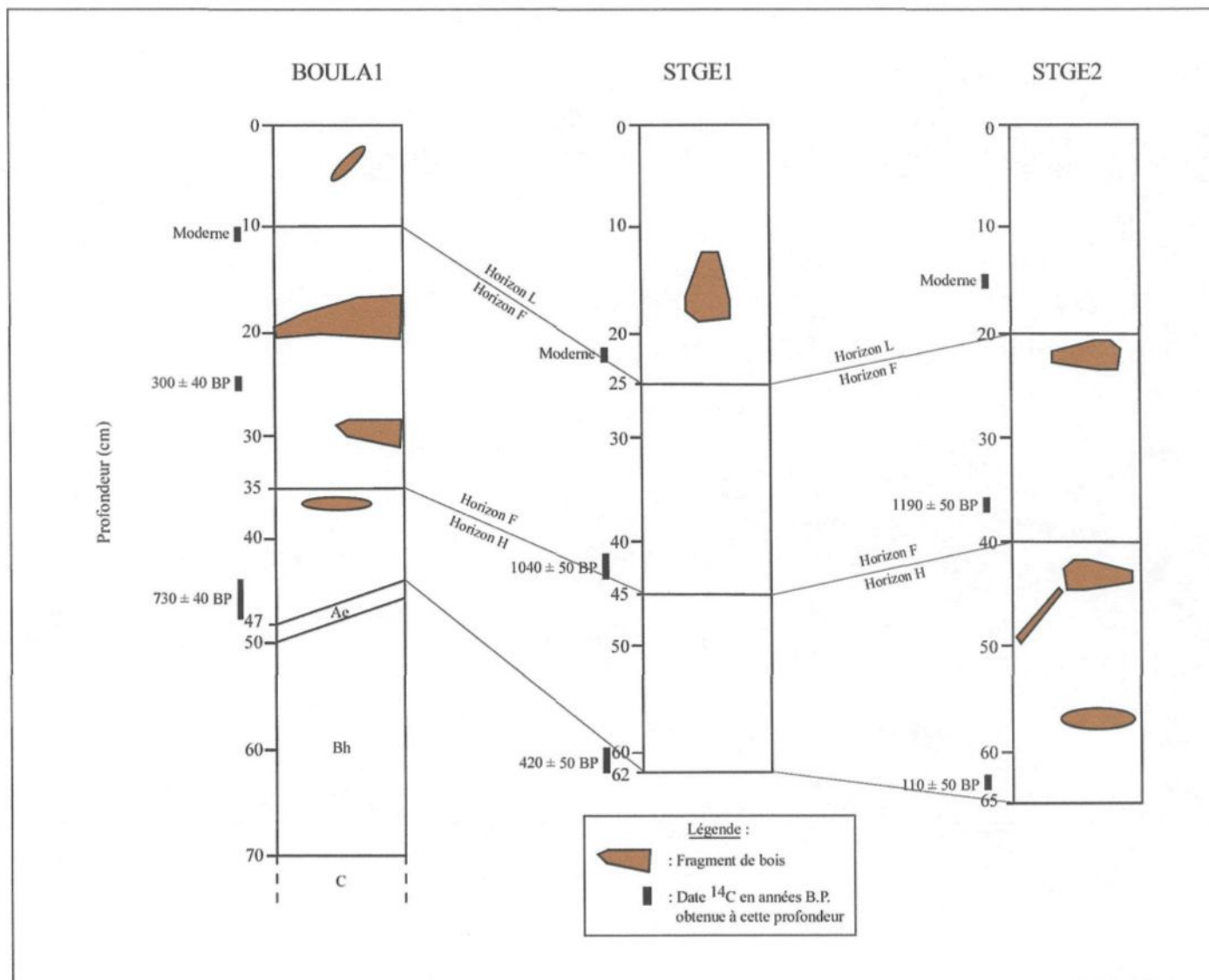


Figure 6. Stratigraphie des profils de sol BOULA 1, STGE1 et STGE2.

Tableau 2. Dates ^{14}C obtenues par spectrométrie de masse pour les profils BOULA1, STGE1 et STGE2.

Profil de sol	Profondeur (cm)	Numéro de laboratoire	Âge ^{14}C (années BP)	Matériel utilisé
BOULA1	10-11	TO-7857	moderne	déjections TBE
BOULA1	24-25	TO-7858	300 ± 40	déjections TBE
BOULA1	44-47	TO-7859	730 ± 40	matière organique
STGE1	22-23	TO-7860	moderne	déjections TBE
STGE1	42-44	TO-7861	1040 ± 50	déjections TBE
STGE1	60-62	TO-7862	420 ± 50	matière organique
STGE2	16-17	TO-7863	moderne	déjections TBE
STGE2	37-38	TO-7864	1190 ± 50	déjections TBE
STGE2	62-63	TO-7865	110 ± 50	matière organique

Il semble y avoir eu des inversions lors de la datation des échantillons de base STGE1 60-62 cm et STGE2 62-63 cm. Ils sont moins âgés (420 et 110 ± 50 ans BP) que les échantillons situés plus haut dans leur profil respectif (1040 et 1190 ± 50 ans BP).

Le rapport entre l'âge et la profondeur de l'humus est illustré à la figure 7. Les courbes obtenues pour STGE1 et STGE2 présentent d'importantes irrégularités découlant des problèmes de datation. Ces problèmes ne semblent pas avoir affecté le profil BOULA1. Pour ce dernier, l'âge de l'humus augmente avec la profondeur. Les taux d'accumulation d'humus ne sont toutefois pas constants.

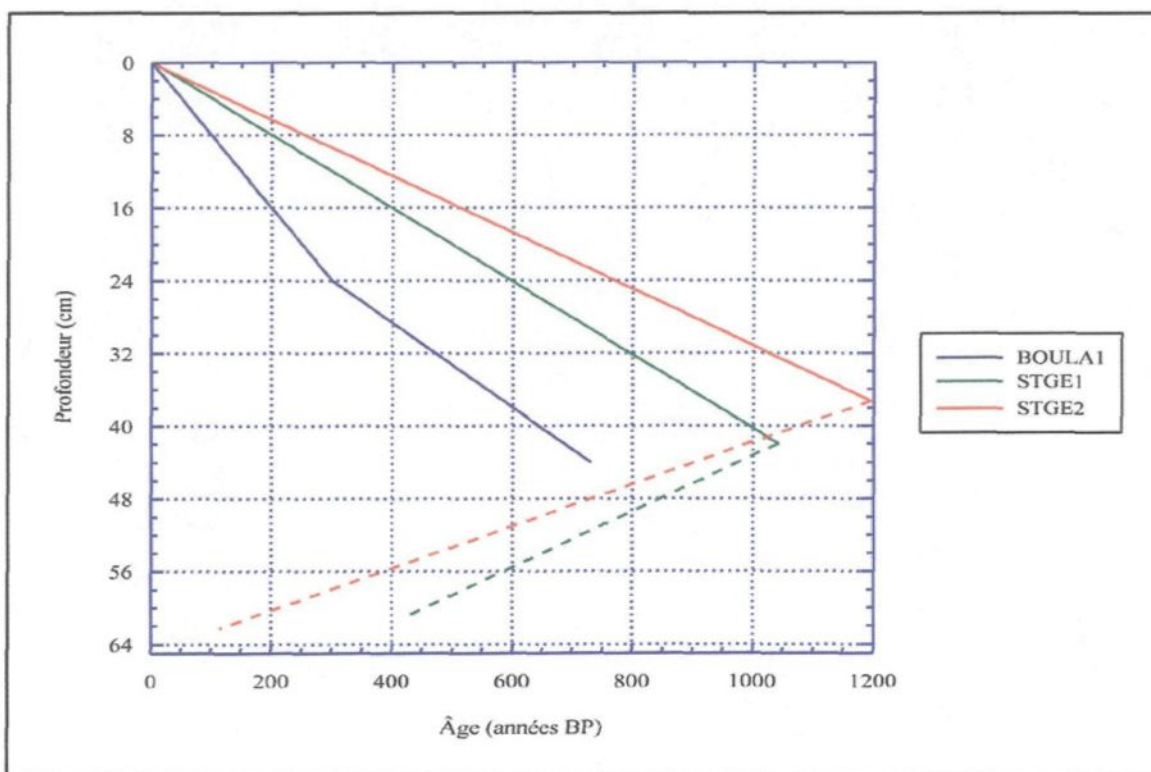


Figure 7. Relation entre l'âge et la profondeur des humus des profils BOULA1, STGE1 et STGE2. Les tirets indiquent les inversions des datations.

4.5 PIÈCES MACROFOSSILES

4.5.1 Macrorestes d'*Abies balsamea* et *Picea* sp. retrouvées dans les profils

Les principales pièces macrofossiles de *Abies balsamea*, *Picea glauca* et *Picea mariana* retrouvées dans les trois profils de sol sont les feuilles, les graines, les fragments de rameaux, les cônes mâles, l'écorce et les écailles de cônes femelles (ECF). Il ne s'agit que d'une partie des macrorestes retrouvés dans les profils. Les macrorestes des autres espèces végétales observés dans les profils, ne sont pas présentés dans le cadre de cette étude. Le diagramme de BOULA1 (figure 8) démontre une importante diminution du nombre de pièces de sapin et d'épinette blanche de la surface jusqu'à 15 cm de profondeur. Une graine

de sapin a été observée à 42 cm de profondeur. Elle était relativement altérée mais a pu être identifiée. Le nombre de macrorestes de sapin et d'épinette blanche diminue de façon notable avec la profondeur pour les profils STGE1 et STGE2 (figures 9 et 10). Quelques feuilles et des fragments de rameaux et d'écorce ont été retrouvées dans la partie centrale de ces profils. Les pièces découvertes aux plus grandes profondeurs de ces profils sont une feuille de sapin à 59 cm de profondeur dans STGE1 ainsi qu'une feuille d'épinette blanche et un fragment de rameau à 60 cm de la surface pour STGE2.

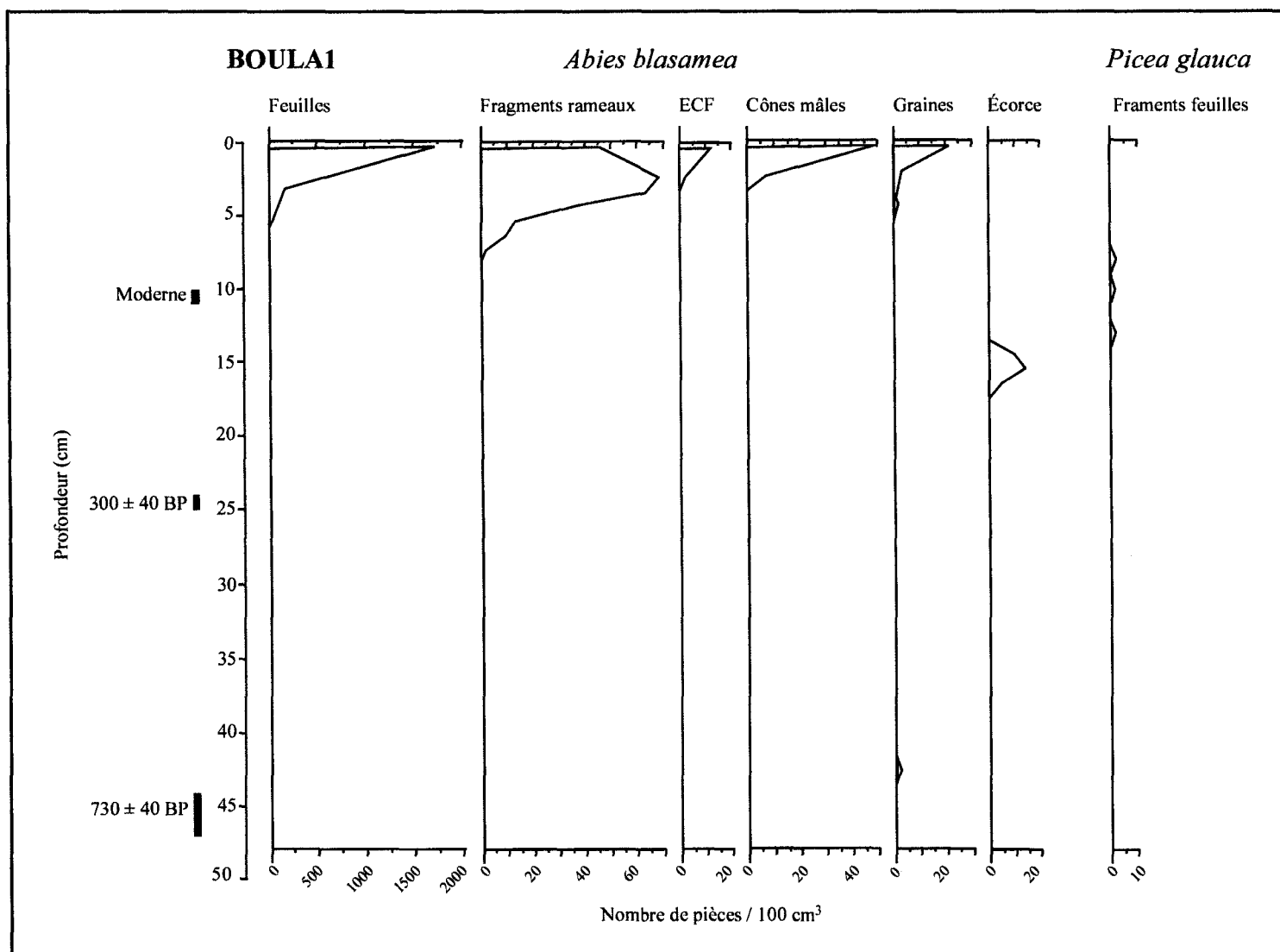


Figure 8. Diagramme des pièces macrofossiles d'*Abies balsamea* et *Picea glauca* retrouvées dans le profil BOULA1.
ECF : écaille de cône femelle.

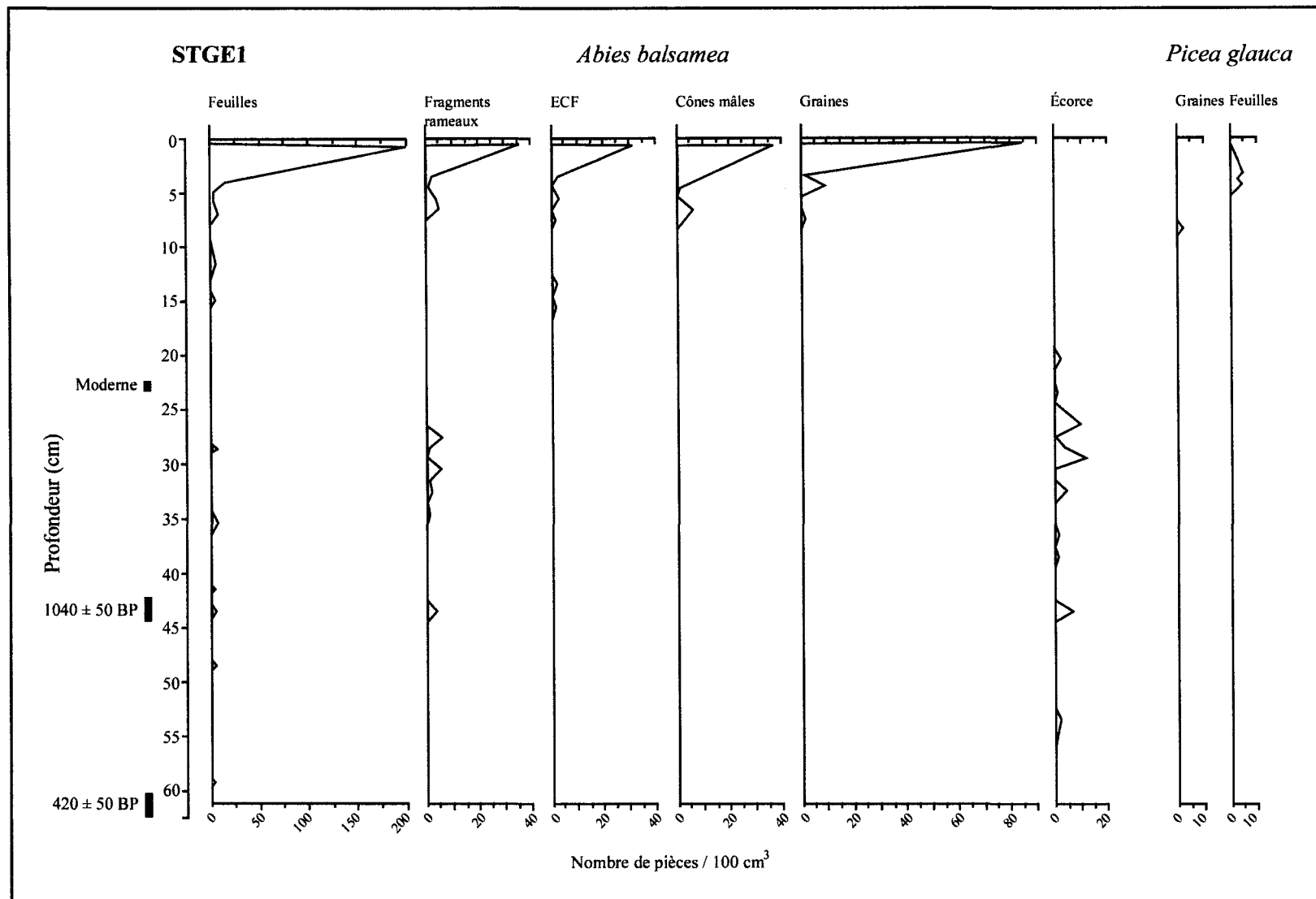


Figure 9. Diagramme des pièces macrofossiles d'*Abies balsamea* et *Picea glauca* retrouvées dans le profil STGE1.
ECF : écaille de cône femelle.

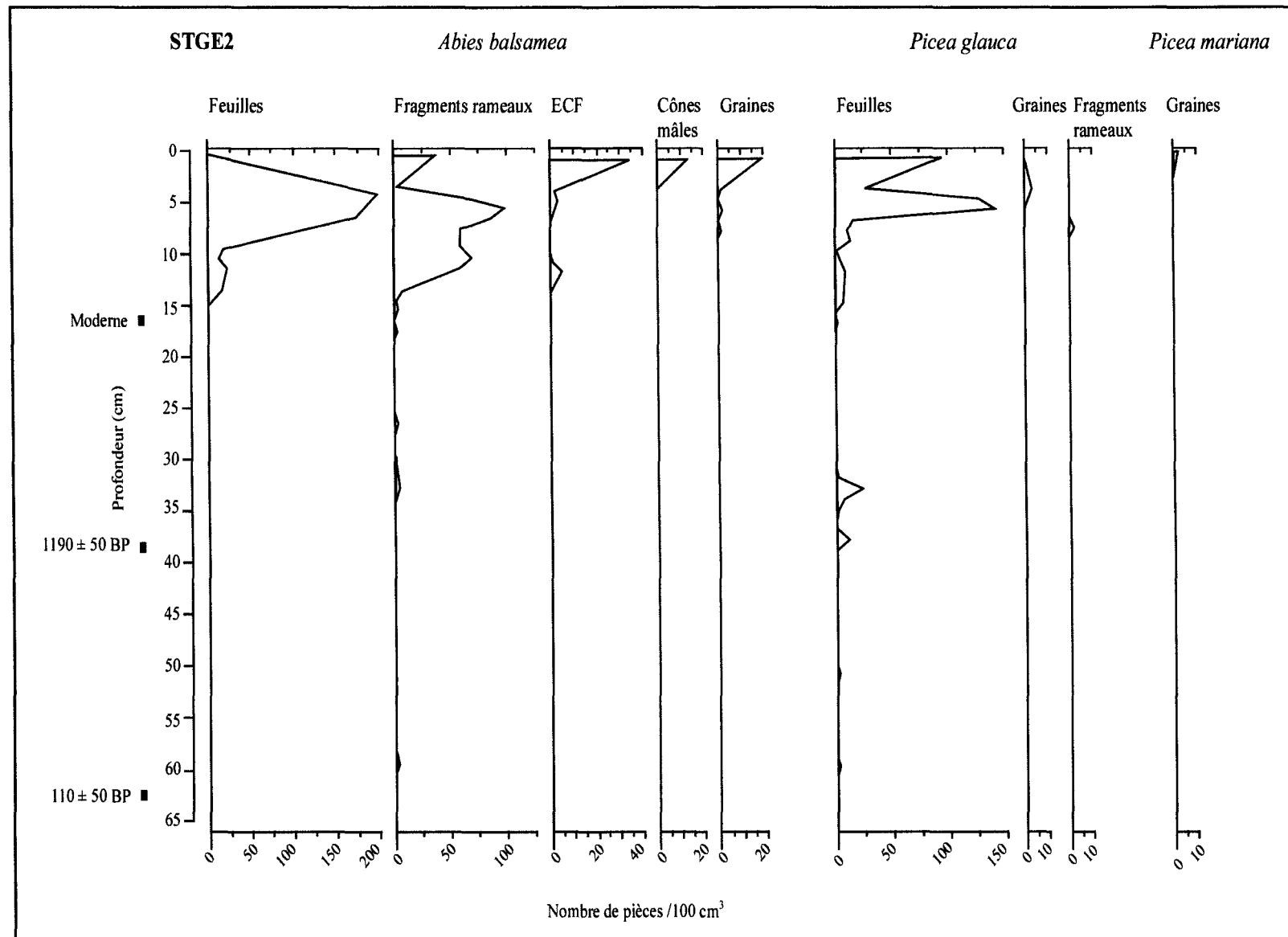


Figure 10. Diagramme des pièces macrofossiles d'*Abies balsamea*, *Picea glauca* et *P. mariana* retrouvées dans le profil STGE2. ECF : écaille de cône femelle.

4.5.2 Déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

4.5.2.1 Identification des déjections

Les déjections retrouvés dans les humus analysés sont des petits cylindres bruns, composés d'un amalgame de petits fragments de feuilles et de déchets (figure 11). Leur taille varie entre 0,80 et 1,12 mm de largeur, et 1,60 et 3,20 mm de longueur. L'observation au microscope de déjections fossiles broyées a permis d'identifier les stomates des petits fragments de feuilles qu'elles renfermaient (Potelle, 1995). Il s'agissait de stomates de sapin baumier. Ces déjections ont donc été produites par un insecte se nourrissant de sapin baumier. Par ailleurs, des comparaisons morphologiques et anatomiques effectuées entre des déjections fossiles et des déjections de TBE récoltées au sol lors de la dernière épidémie ont permis d'affirmer qu'elles ont la même origine. Lorsque ces mêmes déjections fossiles ont été comparées avec des déjections provenant d'un élevage de TBE, il a encore une fois été possible de conclure qu'elles provenaient du même insecte. Finalement les déjections fossiles retrouvées dans les échantillons ont été comparées à des déjections fraîches d'arpenteuse de la pruche, de la tordeuse à tête noire de l'épinette, de la tenthrède à tête jaune de l'épinette et du diprion de Swaine. Bien que toutes les déjections de ces larves aient plus ou moins la forme d'un cylindre, elles présentent des couleurs et des formes différentes faisant en sorte qu'elles ne peuvent être confondues avec les déjections de la TBE. Il apparaît donc que les déjections retrouvées dans les profils de sol récoltés dans l'Archipel-de-Mingan ont été excrétées par des larves de la tordeuses des bourgeons de l'épinette.



Figure 11. Résidus de digestion fossiles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

4.5.2.2 Dénombrement et distribution des déjections

D'abondantes déjections de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont été retrouvées dans les trois profils. Les déjections retrouvées près de la surface étaient bien conservées. Plus la profondeur augmentait, plus les crottins devenaient altérés, en demeurant toutefois identifiables. Les diagrammes de distribution des déjections de la tordeuse en fonction de la profondeur pour les trois profils d'humus sont présentés à la figure 12.

Pour le profil BOULA1, des résidus de digestions ont été dénombrés jusqu'à 28 cm de profondeur, ce qui correspond à un âge ^{14}C d'un peu plus de 300 ± 40 ans BP. Vers 7 cm de profondeur, on peut observer la quantité maximale de déjections accumulées dans

l'humus, soit plus de $1500 / 100 \text{ cm}^3$. La distribution des déjections de la TBE dans le profil STGE1 démontre de nombreux pics distincts dans la section moderne de l'humus, soit les 25 premiers centimètres. Par la suite, on ne retrouve plus de résidus de digestion avant 39 cm de profondeur où l'âge obtenu est de 1040 ± 50 ans BP. Des déjections ont été notées jusqu'à 60 cm de profondeur pour le profil STGE2. Une série de pics d'abondance de crottins apparaissent jusqu'à environ 36 cm de profondeur, ce qui correspond à 1190 ± 50 ans BP.

4.5.3 Capsules céphaliques

Quelques capsules céphaliques ont été retrouvées dans les humus des îles Bouleaux du Large et Sainte-Geneviève. Ce sont des capsules de *Choristoneura*. Elles n'ont pu être identifiées à l'espèce en raison de leur altération et de leur fragmentation. Ces capsules ont été découvertes aux mêmes profondeurs que les déjections de la TBE, à l'exception de la capsule observée à 32 cm dans le profil BOULA1.

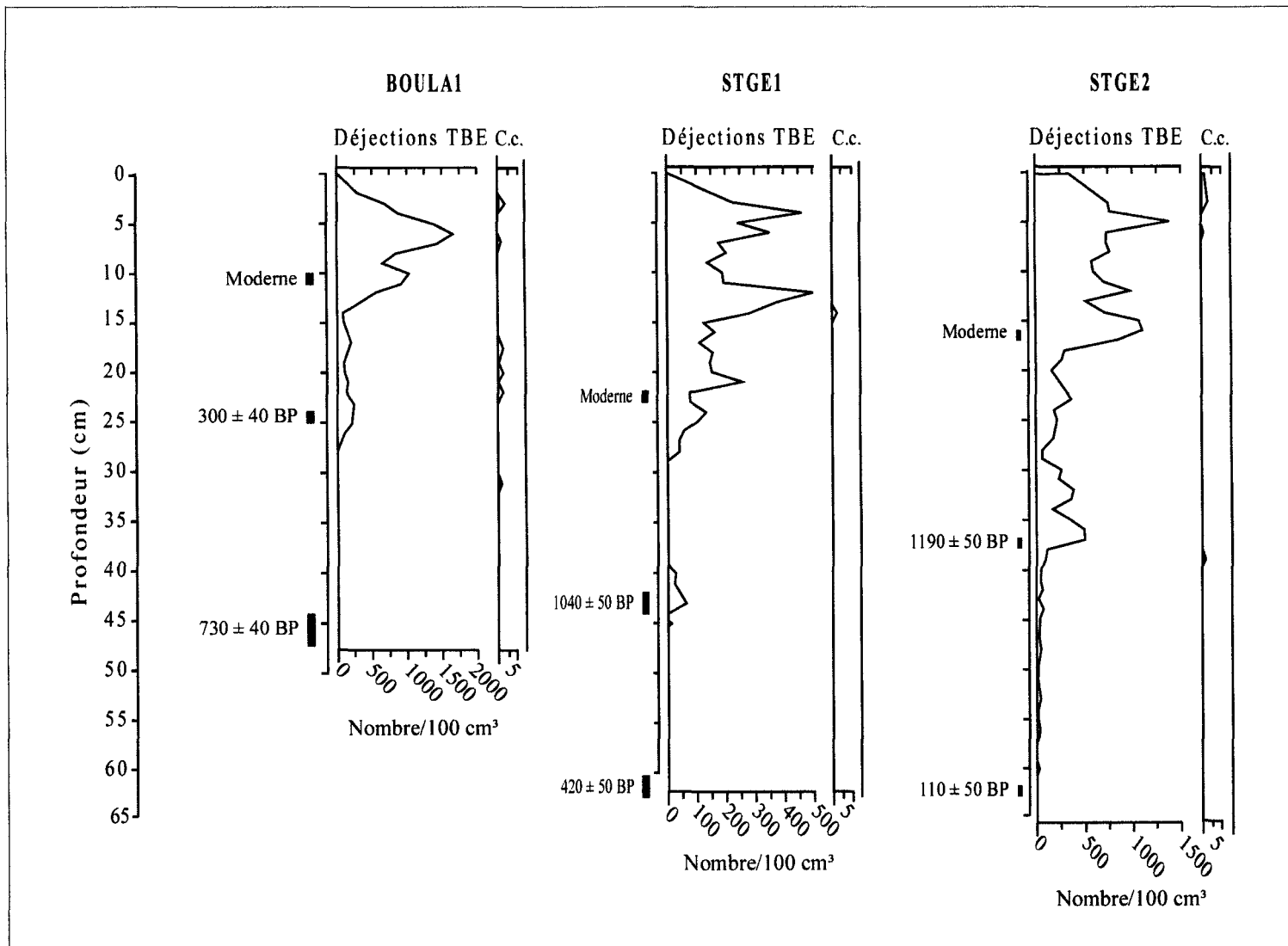


Figure 12. Distribution des déjections de la TBE et des capsules céphaliques de *Choristoneura* en fonction de la profondeur pour les profils BOULA1, STGE1 et STGE2. C.c. : capsules céphaliques.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Ce projet fait suite à l'étude de Potelle (1995) qui cherchait à identifier les pièces macrofossiles permettant de détecter les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les sols de sapinières boréales. Il trouva d'abondants résidus de digestion de la TBE localisés à des profondeurs spécifiques pouvant correspondre à des épidémies de ce lépidoptère. Il retraça ainsi près de 100 ans d'histoire, soit les trois épidémies survenues lors du 20^e siècle. Dans le cadre de la présente étude, les déjections de la TBE furent à nouveau recherchées dans d'épais profils d'humus provenant de l'Archipel-de-Mingan dans le but de retracer l'histoire des épidémies.

5.1 DENDROCHRONOLOGIE DES ÉPIDÉMIES DE LA TBE

La chronologie des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette a été établie à partir de carottes d'épinettes blanches provenant de l'île Sainte-Geneviève et de la côte, tout près de Havre Saint-Pierre. Des réductions de la largeur des cernes de croissance des arbres attribuables à la TBE ont été signalées pour les deux derniers siècles et une partie du 18^e siècle.

Lors du 20^e siècle, il y aurait eu des épidémies de la TBE autour de 1978 et 1909 (figure 5). Après ces deux périodes épidémiques, il semble y avoir eu une reprise de la croissance suivie d'une nouvelle vague de défoliation. Ces deuxièmes vagues d'épidémie apparaissent sur la courbe des épinettes de la Gaspésie, alors que pour la courbe des épinettes blanches de Mingan, on ne peut détecter que celle survenant vers 1918, soit après l'épidémie ayant débuté vers 1909. Une chute de croissance importante a été notée chez les épinettes de

Mingan et de la Gaspésie au début des années 1940. Elle ne peut toutefois pas être associée à la TBE, cette partie de la courbe ne présente pas la forme caractéristique de vallée associée aux épidémies. La comparaison avec une courbe de croissance d'une espèce non hôte de la TBE aurait pu aider à déterminer si le climat était à l'origine de ces dépressions. L'épidémie survenue à la fin des années 1940, début des années 1950 dans les autres régions du Québec (Morin, 1998) n'apparaît pas clairement dans la courbe de croissance des épinettes blanches de Mingan. Les populations de TBE n'auraient pas atteint des niveaux épidémiques dans cette région. Par contre, une hausse du nombre de résidus de digestion de la TBE correspondant à cette période a été notée dans les profils STGE1 et STGE2 (voir section 5.4 et figure 12).

Deux épidémies auraient sévi dans l'Archipel-de-Mingan lors du 19^e siècle, soit en 1878 et 1819. La réduction de croissance observée en 1842 pourrait être associée à une troisième épidémie. Les populations de la tordeuse auraient atteint un niveau épidémique une seule fois au cours du 18^e siècle sur la courbe obtenue, soit vers 1758. Seulement trois arbres expliquent cette partie de la courbe. Elle est donc moins fiable que le reste de la courbe.

Une étude réalisée (Blais, 1983a) dans les forêts de la Côte Nord indique qu'aucune épidémie d'envergure, autre que celle de 1978, n'aurait eu lieu dans cette région depuis la fin du 19^e siècle. Blais (1983b) mentionne également que la fréquence actuelle des épidémies prévalant pour la Côte Nord est similaire à la situation observée dans les autres régions du Québec avant le 20^e siècle, c'est-à-dire des épidémies moins sévères et des

cycles plus longs. Ces résultats sont contradictoires à ceux obtenus lors de l'analyse dendrochronologiques des épinettes blanches de Mingan. Les arbres échantillonnés dans le cadre des études de Blais, tout comme ceux de ce projet, sont des survivants qui ont subis moins de dommages lors des épidémies. Par conséquent les informations déduites à partir de l'analyse de cernes de croissance sous-estiment probablement l'étendue et la sévérité des épidémies. De plus, si la défoliation n'est pas assez sévère, il est possible que les épidémies ne soient pas détectées (Réginière et Lysky, 1995).

La courbe de croissance des épinettes blanches aurait dû être comparée avec celle d'une espèce non hôte de la TBE afin de déterminer les périodes épidémiques et d'éliminer les variations dans les réactions des arbres hôtes face à la tordeuse ou au climat (Swetnam *et al.*, 1996). Un début de courbe de croissance de bouleaux blancs a été amorcée. Toutefois, l'interdatation des bouleaux n'a pas permis d'obtenir des résultats concluants et a dû être abandonnée. Peu d'espèces non hôte poussent dans l'Archipel-de-Mingan ce qui rend difficile la réalisation d'une courbe de croissance acceptable. Toutefois, la comparaison de la courbe de croissance des épinettes blanches de Mingan avec celle de la Gaspésie, dont les épidémies sont connues, a permis de mettre en évidence des perturbations pouvant être attribuées à la tordeuse (figure 5).

5.2 STRATIGRAPHIE ET DATATION DES PROFILS DE SOL

Les trois profils de sol prélevés présentaient des stratigraphies bien définies. Elles n'offraient pas de discordance. L'altération des macrorestes retrouvés augmentait avec la profondeur, indiquant ainsi une décomposition progressive du matériel organique. Il ne semble pas y avoir eu de chablis ou de feux réguliers dans les sites d'étude. En effet, les profils d'humus sont bien zonés, ils ne présentent pas d'horizon oblique ou d'irrégularité notable. En outre, il n'y avait pas d'arbre couché au sol ou enfouis dans les sites d'échantillonnage. Très peu de charbons de bois ont été retrouvés dans les profils. Ils étaient tous localisés près de leur base. Des feux récurrents auraient pu entraîner une perte importante de matériel, ce qui ne semble pas être le cas. Aucun indice ne laisse croire qu'il y ait eu une fréquence élevée de feux ou de chablis dans les sites d'étude.

Par ailleurs, le sol n'aurait pas été remanié de façon importante par la pédofaune. En effet, la bioturbation semble négligeable dans les podzols et dans les sols d'humus brut sous couvert de résineux en raison de leur pauvreté en invertébrés. L'acidité et leur faible quantité de nutriments seraient à l'origine de cette rareté (Beyer et Irmeler, 1991; Molodova, 1976; Ponge, 1984; Fillion, 1977). Potelle (1995) observa également une stratification nette des humus et une altération progressive des pièces macrofossiles retrouvées en fonction de la profondeur. Pour ce qui est des inversions de datation observées à la base des profils STGE1 et STGE2, elles découlent probablement de contaminations par du matériel organique intrusif riche en carbone moderne contenu dans les fragments de sol utilisés pour la datation. Il s'agit peut être de racines. Martel et Lasalle (1977) suggèrent de tamiser et

brasser les échantillons dans l'eau et de les centrifuger pour éliminer tous les débris végétaux, tels que les racines, pouvant fausser les résultats. La contamination des échantillons peut également découler de la circulation d'acides humiques dans le dépôt faisant en sorte que les couches basales sont rajeunies par des apports de carbone plus récent (Dubois *et al.*, 1991). L'utilisation de petites pièces en guise de matériel de datation aurait été préférable à de gros fragments de la base. Toutefois, de telles pièces n'étaient pas disponibles en raison de la décomposition avancée de l'humus. Les échantillons près de la base ne contenaient pratiquement plus de macrorestes identifiables et étaient dépourvus de charbons. En outre, l'emploi de la méthode radiométrique de datation, utilisant de plus gros volumes d'échantillon (500 g) que la spectrométrie de masse (>100 mg) aurait peut être permis de diluer l'impact du carbone intrusif récent. Dans le cadre d'une étude en cours (Valcourt, comm. pers.), une date ^{14}C de 5350 ± 70 années BP (Beta-120142) a été obtenue pour un dépôt d'humus situé près des profils STGE1 et STGE2 à des profondeurs similaires. Les âges véritables de ces deux profils pourraient donc être de l'ordre de quelques (5) milliers d'années. La base du profil BOULA1 a été datée à 730 ± 40 années B.P. Cette date ne semble pas avoir été contaminée. Toutefois, Valcourt (comm. pers.) a obtenu un âge de 4000 ± 80 ans BP (Beta-120139) pour la base d'un dépôt de tourbe situé sur l'île à Bouleaux du Large. Il y a donc des sols forestiers sur cette île plus âgés que le site BOULA1. Toutefois, il ne faut pas négliger la possibilité que les âges obtenus par Valcourt (comm. pers.) aient pu être faussés par la présence de vieux carbones contenus dans l'eau du sol résultant de la dégradation des calcaires et des dolomies constituant l'assise roche de ces deux îles.

La relation entre l'âge et la profondeur des humus (figure 7) n'est pas concluante pour les profils de l'île Sainte-Geneviève en raison des problèmes de datation. Pour ce qui est de la courbe de BOULA1, il serait hasardeux de tirer des conclusions relativement aux taux d'accumulation de la matière organique à partir de seulement trois dates ^{14}C dont une est moderne. Il aurait été intéressant d'avoir plus de datations par profils. Bradshaw et Zackrisson (1990) présentent une courbe dont l'aspect général est relativement similaire. Tout comme pour la courbe de BOULA1, leur rapport âge-profondeur d'humus présente des taux d'accumulation variables. Les taux semblent plus élevés vers la surface, alors que la base de leur profil serait plus compactée, obtenant des taux d'accumulation beaucoup plus faibles. L'échelle temporelle serait donc plus compressée vers la base des humus (Potelle, 1995).

5.3 HISTORIQUE D' *ABIES BALSAMEA* ET *PICEA* SP.

L'analyse macrofossile des échantillons d'humus des îles Bouleaux du Large et Sainte-Geneviève indique la présence d'*Abies balsamea* et de *Picea glauca* sur les sites étudiés depuis le début de la formation du dépôt d'humus jusqu'à aujourd'hui. Les macrorestes démontraient une décomposition croissante avec l'augmentation de la profondeur. Les plus grandes abondances et la plus grande diversité de macrorestes ont été notées dans les 20 premiers cm des profils. Par la suite le nombre de pièces diminue rapidement et leur état de conservation se dégrade considérablement. Il est difficile de retracer l'histoire des ces espèces végétales avec si peu d'information tant au niveau des macrorestes que des dates ^{14}C . Néanmoins, pour ce qui est de BOULA1, la majorité des pièces identifiables de sapin

et d'épinette blanche sont situées dans la portion moderne du profil. Des fragments d'écorce d'*Abies balsamea* et des fragments de feuilles de *Picea glauca* ont été découverts dans la section du profil entre la période moderne et 300 ± 40 ans BP. Le fragment de graine de sapin retrouvé à 42 cm aurait un peu moins de 730 ± 40 ans BP. Bien qu'elle semblait décomposée, il ne faut pas écarter la possibilité que cette graine de sapin soit une contamination et provienne d'une autre profondeur du profil.

Quant au profil STGE1, le même phénomène est observé, c'est-à-dire que la plupart des macrorestes de sapin et d'épinette blanche se sont accumulées dans les 15 premiers cm, soit la période moderne. Quelques feuilles, fragments de rameaux et d'écorces se retrouvent de façon dispersée à partir de 25 cm jusqu'à 59 cm de profondeur. Ces trois types de macrorestes ont été identifiés à 42-43 cm, soit le niveau du profil ayant obtenu l'âge de 1040 ± 50 ans BP. D'autres macrorestes de sapin sont identifiées par la suite entre 42 cm et la base du profil. Le sapin baumier aurait donc été présent sur le site STGE1 depuis le début de l'accumulation de l'humus, soit il y a plus de 1040 ± 50 ans B.P., à défaut de connaître l'âge réel de la base. Le même scénario se répète pour le profil STGE2, à la différence près que des graines de *Picea mariana* ont été découvertes dans les premiers cm seulement. L'âge obtenu à 37-38 cm de profondeur est de 1190 ± 50 années BP. Ainsi, il y aurait eu des sapins baumiers et des épinettes blanches sur le site STG2 depuis plus de 1200 ans. Si on considère l'âge obtenu par Valcourt (comm. pers.), les profils d'humus de l'île Sainte Geneviève pourraient avoir environ 5000 ans d'histoire. Richard (1995) a décrit le couvert végétal du Québec - Labrador il y a 6000 ans BP. La région de la Moyenne Côte-

Nord était alors peuplée par des pessières fermées à épinettes noires. Il y avait également du sapin baumier et de l'épinette blanche.

L'analyse macrofossile permet de reconstituer l'histoire de la végétation locale et d'identifier de façon précise les pièces retrouvées, très souvent jusqu'au niveau de l'espèce (Larouche et Richard, 1994). Les macrorestes offrent donc un reflet de la végétation passée près des sites d'étude (Birks, 1973, 1993; Dunwiddie, 1987). Si des pièces macrofossiles de sapin baumier, d'épinette blanche et d'épinette noire ont été retrouvées dans les profils étudiés, c'est donc dire que ces espèces étaient présentes sur ces sites, à l'époque où ces pièces se sont déposées dans l'humus.

5.4 DISTRIBUTION DES DÉJECTIONS DE LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE : HISTOIRE DES ÉPIDÉMIES ?

Les résidus de digestion des larves de la TBE retrouvés dans les humus sont de bons indicateurs de la présence de cet insecte dans les sites étudiés. Ces déjections se conservent relativement bien dans les sols forestiers et sont faciles à identifier. Établir l'histoire des épidémies à partir de la distribution des crottins de la TBE n'est toutefois pas facile à accomplir.

Lorsque l'on considère les données recueillies pour le profil BOULA1 (figure 12), il est possible d'observer une plus grande quantité des résidus de digestion dans les 10 premiers centimètres, se traduisant par deux pics d'abondance. Ces pics correspondent à des âges

modernes. Dans les 15 cm suivants, le nombre de déjections diminue grandement et couvre une période d'environ 300 ans. Bien que la quantité de résidus de digestion ait diminué, il semble y avoir une légère recrudescence vers 23 cm, augmentation qui pourrait être attribuée à une épidémie. Il n'y a plus de crottins après 28 cm, mais une capsule céphalique de *Choristoneura* a été retrouvée à 32 cm de profondeur. Donc, la présence de la tordeuse est décelable jusqu'à 300 ans BP dans le profil BOULA1. On pourrait relier le premier pic d'abondance des déjections à la dernière épidémie ayant eu lieu lors du 20^e siècle, soit celle de 1978 (voir figure 5). La dernière hausse du nombre de crottins survenue vers 25 cm datée à 300 ± 40 ans BP est peut être une épidémie, soit celle qui a été notée vers le milieu du 18^e siècle (1758) lors des analyses dendrochronologiques. La distribution verticale des déjections de la TBE du profil BOULA1 présente 5 pics. Les trois derniers sont toutefois moins distincts que les premiers. Or, l'analyse dendrochronologique des épinettes blanches permet de retracer cinq épidémies sur 300 ans (1758, 1819, 1878, 1909 et 1978). Est-ce une coïncidence ou peut-on relier chaque maximum à une épidémie? En raison du manque d'information, plus particulièrement de dates ^{14}C , il serait hasardeux d'attribuer chaque maximum à une épidémie.

Le profil STGE1 présente trois pics de déjections dans les 23 premiers centimètres d'humus. Tout comme pour BOULA1, la date radiocarbone obtenue pour cette profondeur est moderne. Ces trois pics pourraient être associés aux épidémies survenues lors du 20^e siècle. L'épidémie de TBE survenue à la fin des années 1940 n'a pu être décelée par la dendrochronologie. Une hausse de la quantité de déjections a toutefois été notée. Une

autre amplitude maximale de résidus de digestion est visible entre 39 et 45 cm. L'âge obtenu pour ces résidus est de 1040 ± 50 ans BP, ce qui correspond en années calibrées à l'an 1010. Les quantités de déjections retrouvées sont moins élevées, c'est-à-dire moins de 100 crottins/ 100 cm³. Ces faibles quantités peuvent résulter des processus de décomposition dont les effets s'intensifient dans les humus avec la profondeur et/ou de faibles niveaux de population. Il est cependant possible d'affirmer que la tordeuse était présente sur l'île Sainte-Geneviève au début du millénaire.

Des déjections de la TBE ont été découvertes dans le profil STGE2 jusqu'à 60 cm de profondeur. Le profil STGE2 était situé tout près de la sapinière abritant le site STGE1. Un parallèle peut être fait entre les deux profils en surface. Les trois premiers pics pourraient être reliés encore une fois aux épidémies du derniers siècle (1909, probablement celle de la fin des années 1940, et 1978). Entre 17 cm et 37 cm, quatre pics de déjections ont été notés correspondant à environ 1200 ans d'histoire. Une capsule céphalique a également été retrouvée à 39 cm. On peut relier ces pics à des fluctuations des populations de la TBE ayant pu atteindre des niveaux épidémiques lors du dernier millénaire. Il aurait été intéressant d'avoir des dates radiocarbone, non contaminées, pour ces profondeurs. D'autres déjections ont été dénombrées en faibles quantités entre 37 et 60 cm. Ces crottins témoignent de la présence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'île Sainte-Geneviève jusqu'au tout début de l'accumulation de l'humus. La datation ¹⁴C pour la base du profil a malheureusement été contaminée possiblement par du matériel organique récent

riche en carbone. On peut l'estimer à quelques (5) milliers d'années d'après la date obtenue par Valcourt (comm. pers.).

Ainsi, lorsqu'on compare les trois profils, il est possible de retracer les épidémies survenues lors du dernier siècle. Les profils STGE1 et STGE2 présentent trois pics distincts dans la partie moderne de leur humus. Ces pics peuvent être associés aux épidémies de 1909, 1978 et probablement celle de la fin des années 1940 qui n'a pu être détectée par dendrochronologie. Pour ce qui est de BOULA1, seulement deux pics sont notés pour cette période. Il a été prouvé que lorsqu'une épidémie affecte sévèrement un peuplement, les impacts de l'épidémie suivante sont moins marqués (Morin, 1994).

Les trois profils d'humus démontrent une compression temporelle vers leur base. Pour les quelques 20 premiers centimètres, on obtient à peine une centaine d'années d'histoire, alors que pour les 20 cm suivants, une période de plus de 1000 ans est couverte. Cette compression temporelle pourrait résulter de la diminution de la taille des particules en fonction de la profondeur due à la décomposition. Le matériel du sol deviendrait compact suite au remplissage des ses espaces interstitiels. Il y aurait plus de matière organique dans un centimètre d'épaisseur en profondeur qu'un centimètre d'épaisseur en surface, soit possiblement plus d'années par centimètre la base qu'au sommet du profil (Potelle, 1995). En outre, les processus d'accumulation de l'humus ne sont pas constants. Ils ont pu être perturbés par des phénomènes externes tels des pluies abondantes entraînant le lessivage des sols en surface, donc pertes de pièces macrofossiles et de matière organique. La

végétation (racines, fragments de bois enfouis, etc.) peut également être une autre source de perturbation. Il peut donc y avoir des coupures temporelles dans l'accumulation de l'humus.

Les relations entre les données macrofossiles et dendrochronologiques sont difficiles à établir. Seules les données relatives au 20^e siècle peuvent être comparées. Le manque de dates ^{14}C et les informations fragmentaires tirées des analyses macrofossiles n'ont pas permis d'identifier avec certitude les épidémies survenues lors du 18^e et 19^e siècles. Les liens effectués entre la distributions des déjections de la TBE et les épidémies connues survenues lors des trois derniers siècles demeurent donc des hypothèses. La paléoécologie est une science descriptive qui essaie d'identifier et de quantifier les différents événements écologiques survenus dans le passé. Les reconstitutions paléoécologiques réalisées à partir de pièces ou d'organismes fossiles sont partielles et imprécises (Dearing, 1986). N'ayant pu être témoins d'événements survenus il y a quelques milliers d'années, on ne peut qu'émettre des hypothèses à leur égard.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette laissent des traces dans les humus forestiers qui permettent de retracer leur histoire. L'étude de la distribution verticale des déjections de la TBE dans trois profils de sols provenant de l'Archipel-de-Mingan a permis de retracer une partie de l'histoire des épidémies de cet insecte. Les données macrofossiles relatives au dernier siècle ont pu être appuyées par l'analyse dendrochronologique d'échantillons d'épinettes blanches.

La datation ^{14}C de déjections a indiqué la présence de la TBE sur l'île Sainte-Geneviève depuis au moins 1190 ± 50 années BP. Des problèmes de contamination des échantillons de base des profils STEGE1 et STGE2 n'ont pas permis d'obtenir les âges réels du début de l'accumulation de l'humus pour ces deux profils. Ils peuvent toutefois être estimés à 5000 ans B.P. La présence d'*Abies balsamea* et *Picea glauca* dans les sites à l'étude depuis le début de la formation des sols a été confirmée par les analyses macrofossiles. Des fragments de feuilles, de graines et de rameaux de sapins et d'épinettes blanches ont été retrouvés dans l'ensemble des profils de sol.

Les lacunes de l'analyse macrofossile, notamment au niveau de la conservation des macrorestes en profondeur, auraient pu être comblées par l'analyse pollinique. Un plus grand nombre de datations radiocarbone aurait également été souhaitable. Afin d'obtenir le plus d'information possible sur les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, l'étude des macrorestes, des pollens et des cernes de croissance devrait être faite

conjointement. Ce type d'étude permettrait d'améliorer les connaissances acquises, et ainsi, de mieux comprendre la dynamique des sapinières et des épidémies de la TBE.

Il serait aussi éventuellement intéressant de comparer entre eux des profils provenant d'humus forestiers, de petites tourbières et de petits lacs situés dans des sapinières afin d'observer quel type de milieu enregistre le mieux le passage des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

RÉFÉRENCES

- AGRICULTURE CANADA, 1987. Le système canadien de classification des sols. Seconde édition. Commission canadienne de pédologie, comité de classification des sols, Ottawa. Approvisionnement et Services Canada, publication 1646, 170 p.
- ANDERSON, R., DAVIS, R.B., MILLER, N.G., STUCKENRATH, R. 1986. History of late- and post-glacial vegetation and disturbance around Upper South Branch Pond, northern Maine. *Can. J. Bot.* 64 : 1977-1986.
- BAILLIE, M.G.L. 1982. Tree ring dating and archaeology. University of Chicago Press, Chicago, 274 p.
- BASKERVILLE, G.L. 1975. Spruce budworm : super silviculturist. *For. Chron.* 51: 138-140.
- BEAN, J.L. 1957. The use of larvaevorid maggot drop as a means of measuring spruce budworm populations. *Bull. Entomo. Soc. Am.* 3 : 30.
- BEYER, L., IRMLER, U. 1991. The structure of humus and dynamic of litter decomposition on a Luvisol and a Podzol under forest. *Pedobiologia* 35 : 368-380.
- BIRKS, H.H. 1973. Modern macrofossil assemblages in lake sediments in Minnesota. Dans : BIRKS, H.J. ET WEST, R.G. (éds.). *Quaternary plant ecology*. Blackwell, 195 p.
- BIRKS, H.H. 1993. The importance of plant macrofossils in Late-glacial climatic reconstructions : an example from western Norway. *Quat. Sci. Rev.* 12 : 719-726.

BIRKS, H.J.B. ET BIRKS, H.H. 1980. Quaternary Palaeoecology. Edward Arnold, 289 p.

BLAIS, J.R. 1954. The recurrence of spruce budworm infestations in the past century in the Lac Seul area of northwestern Ontario. Ecology 35 : 62-71.

BLAIS, J.R. 1957. Some relationships of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) to black spruce, *Picea mariana* (Moench) Voss. For. Chron. 33 : 364-372.

BLAIS, J.R. 1958. Effects of defoliation by spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clem.) on radial growth at breast height of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) and white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss.). For. Chron. 33 : 39-47.

BLAIS, J.R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the lower St. Lawrence and Gaspé Region. For. Chron. 37 : 192-202.

BLAIS, J.R. 1962. Collection and analysis of radial growth data from trees for evidence of past spruce budworm outbreaks. For. Chron. 38 : 474-483.

BLAIS, J.R. 1965. Spruce budworm Outbreaks in the past three centuries in the Laurentide park, Quebec. For. Sci. 11 (2) :130-138.

BLAIS, J.R. 1981. Recurrence of Spruce budworm outbreaks for two hundred years in western Quebec. For. Chron. 57 : 273-275.

BLAIS, J.R. 1983a. Les forêts de la Côte Nord au Québec sont-elles sujettes aux déprédations par la tordeuse? For. Chron. 59 : 17-20.

BLAIS, J.R. 1983b. Trends in frequency, extend, and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* 13: 539-547.

BLAIS, J.R. 1984. Réflexions sur l'épidémiologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) suite à 40 années d'études. *Revue d'entomologie du Québec* 29 : 27-33.

BLAIS, J.R. 1985. Répercussion des invasions de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur le sapin baumier et l'épinette blanche dans la réserve des Laurentides (Rapport d'étape). Rapport d'information LAU-X-68F. Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts. 16 p.

BRADSHAW, R.H.W., ZACKRISSON, O. 1990. A two thousand year history of a northern Swedish boreal forest stand. *J. Veg. Sci.* 1 : 519-528.

BRAUN-BLANQUET, FUELLER, J., CONRAD, D.G., SHOEMAKER, H. 1972. Plant sociology : the study of plant communities. Hafner Publishing Company, 439 p.

COOK, E.R. 1985. A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Thèse de doctorat, Université d'Arizona, Tuscon. 175 p.

DAVIS, M.B. 1983. Quaternary history of deciduous forests of eastern North America and Europe. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 70 : 550-563.

DAVIS, M.B. 1985. History of the vegetation on the Mirror Lake watershed . Dans : Likens, G.E. (ed.). An ecosystem approach to aquatic ecology : Mirror Lake and its environment. Springer-Verlag, New York, pp. 53-65

DAVIS, R.B., HOSKINS, B.R. 1980. Part 1. Of a study of feasibility of reconstructing past outbreaks of forest tree defoliating insects on the basis of insect remains in lake sediments, with emphasis on spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) and other microlepidoptera. Doc. int., University of Maine at Orono, 1-21.

DEARING, J.A. 1986. Core correlation and total sediment influx.. Dans : Berglund, B.E. (ed.) 1986. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons, pp. 247-270.

DIJKSTRA, E.F. ET VAN MOURIK, J.M. 1996. Reconstruction of recent forest dynamics based on pollen analysis and micromorphological studies of young acid forest soils under scots pine plantations. Acta Bot. Neerl. 45 (3) : 393-410.

DUBOIS, J.M.M., LAROUCHE, A., RICHARD, P.J.H. ET LANDRY, B. Non publié. Paléogéographie holocène de l'île Nue de Mingan, Côte Nord du Saint-Laurent, Québec. Soumis à Géogr. phys. et Quat.

DUNWIDDIE, P.W. 1987. Macrofossil and pollen representation of coniferous trees in modern sediments from Washington. Ecology 68 : 1-11.

ELIAS, S.A. 1982. Paleoenvironment interpretation of Holocene insect fossils from northeastern Labrador, Canada. Arc. Alp. Res. 14 (4) : 311-319.

FILION, L. 1977. L'archipel de Mingan : un paysage à protéger. Rapport de visite. Conseil consultatif des réserves écologiques, Ministère des Terres et Forêts. 18 p.

FRITTS, H.C. 1976. Tree ring and climate. Academic Press, Londres, New York.

GREENBANK, D.O. 1963. Host species and spruce budworm. Dans : MORRIS, R.F. (éd.). The dynamics of epidemic spruce budworm populations. Em, Ent. Soc. Can. 31 : 219-223.

GRONDIN, P., CHIASSON, R. ET THÉRIAULT, R. 1986a. La végétation de l'archipel de Mingan, tome 1 : présentation de la classification et description des habitats. Groupe Dryade. 108 p.

GRONDIN, P., CHIASSON, R. ET THÉRIAULT, R. 1986b. La végétation de l'archipel de Mingan, tome 2 : présentation des îles. Groupe Dryade. 91 p.

GRONDIN, P., COUILLARD, L., BOUCHARD, D. ET THÉRIAULT, R. 1983. Brève description et cartographie de la végétation de L'Archipel-de-Mingan. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction des réserves écologiques et des sites naturels, 147 p.

HUDES, E.S. ET SHOEMAKER, C.A. 1984. Statistical comparison of spruce budworm (*Lepidoptera : Tortricidae*) development on balsam fir and on red and black spruce. Environ. Entomol. 13 : 1602-1603.

HOLMES, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements. Tree-Ring Bulletin 43 : 69-78.

KRAUSE, C. 1996. L'analyse dendroécologique du clocher de la Cathédrale de Chicoutimi. Saguenayensia avril – juin 1996.

KRAUSE, C. 1997. The use of dendrochronological material from buildings to get information about past spruce budworm outbreaks. Can. J. For. Res. 27 : 69-75.

KRAUSE, C. ET MORIN, H. 1995. Changes in radial increment in stems and roots of balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill.] after defoliation by spruce budworm. For. Chron. 71 : 747-754.

KRAUSE, C ET MORIN, H. 1999. The use of dendrochronological materiel from buildings to get information about past spruce budworm outbreaks. Proceedings of the Sustainable Forest Management Network Conference, Science and Practice, p. 774.

LAROUCHE, A. 1979. Histoire postglaciaire comparée de la végétation à Sainte-Foy et au Mont des Éboulements, Québec, par l'analyse macrofossile et l'analyse pollinique. Mémoire de maîtrise, Université Laval, 117 p.

LAROUCHE, A. ET RICHARD, P.J.H. 1994. Base de données polliniques et macrofossiles du Québec. Département de géographie, Université de Montréal, 18 p.

LARSEN, C.P.S. ET MACDONALD, G.M. 1998. An 840-year record of fire and vegetation in a boreal white spruce forest. Ecology 79 (1) : 106-118.

LAVOIE, C., ELIAS, S.A. ET FILION, L. 1997. A 700-year record of insect communities from a peatland environment, southern Québec. Écoscience 4 (3) : 394-403.

MACLEAN, D.A. 1984. Effects of spruce budworm outbreaks on the productivity and stability of balsam fir forest. For. Chron. 60 (5) : 273-279.

MACDONALD, G.M. 1983. Holocene vegetation history of the upper Natla river area, Northwest Territories, Canada. Arc. Alp. Res. 15 :169-180.

MACDONALD, G.M., LARSEN, C.P.S., SZEICZ, J.M. ET MOSER, K.A. 1991. The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments : a comparison of charcoal, pollen, sedimentological, and geochemical indices. *Quat. Sci. Rev.* 10 : 53-71.

MARTEL, Y.A., LASALLE, P. La datation au radiocarbone de la matière organique de quelques sols du Québec. *Géogr. phys. Quat.* 31 : 373-378.

MARTINEAU, R. 1985. Insectes nuisibles des forêts de l'est du Canada. Éditions Marcel Broquet. 283 p.

MATTSON, W.J., HAACK, R.A., LAWRENCE, R.K., SLOCUM, S.S. 1991. Considering the nutritional ecology of the spruce budworm in its management. *Forest Ecology and Management* 39 : 183-210.

MOLODOVA, L.P. 1976. Pedozoological data for characterization of soil types on the southern Sakhalin. *Pedologia* 16 (6): 401-417.

MORGAN, A.V., MILLER, R.F. ET MORGAN, A. 1982. Palaeoenvironmental reconstruction of southwestern Ontario between 11 000 and 10 000 yr B.P. using fossil insects as indicators. *Third North American Paleontological Convention, Proceedings vol. 2* : 381-386.

MORIN, H. 1994. Dynamics of balsam fir forests in relation to spruce budworm outbreaks in the Boreal zone of Quebec. *Can. J. For. Res.* 24: 730-741.

MORIN, H. 1998. Importance et évolution des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est du Canada : l'apport de la dendrochronologie. *Géogr. Phys. Quat.* 52 : 237-244.

MORIN, H. ET LAPRISE, D. 1990. Histoire récente de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du lac Saint-Jean (Québec): une analyse dendrochronologique. Can. J. For. Res. 20: 1-8.

MORIN, H. ET LAPRISE, D. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. Can. J. For. Res. 23 : 1497-1506.

PARC CANADA, 1992. Réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan : plan de gestion. Service canadien des parcs, Environnement Canada, Ottawa, 95 p.

PARADIS, S., GOEFFREY, C., LESAUTEUR, D. 1989. Introduction au plan de gestion du feu de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan 1989. Service de la conservation des ressources naturelles, District de Mingan. 50 p.

PONGE, J.-F. 1984. Étude écologique d'un humus forestier par l'observation d'un petit volume, premiers résultats. I.- La couche L₁ d'un moder sous pin sylvestre. Rev. Ecol. Bio. Sol. 21 : 161-187.

POTELLE, B. 1995. Potentiel de l'analyse macrofossile pour détecter les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans des sols de sapinières boréales. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, 83 p.

POTVIN, J., MORIN, H., GAGNON, R., SAVARD, G. 1996. Étude du rôle du cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) comme mécanisme naturel de perturbation des écosystèmes forestiers de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan. Laboratoire d'écologie végétale, Université du Québec à Chicoutimi. 78 p.

RÉGINIÈRE, J. ET LYSYK, T.J. 1995. Population dynamics of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. Forest insect pest in Canada. Dans : ARMSTRONG, J.A. ET IVES, W.G.H. (éds.). 1995. Forest insect pests in Canada, Natural Resources Canada, Canadian Forestry, Ottawa, pp. 95-106.

RICHARD, P.J.H. 1995. Le couvert végétal du Québec-Labrador il y a 6000 ans BP : essai. Géogr. phys. Quat. 49(1) : 117-140.

ROYAMA, T. 1984. Population dynamics of the spruce budworm *Choristoneura fumiferana*. Ecol. Monographs 54 : 429-462.

STOKES, M.A. ET SMILEY, T.L. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago, 73 p.

SWETNAM, T.W., THOMPSON, M.A. ET SUTHERLAND, E.K. 1996. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. Agricultural Handbook no. 639, Forest Service, Cooperative State Research Service, 36p.

THIBEAULT, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation, Service de la recherche, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec. Carte en couleur à l'échelle 1 : 1 250 000.

VOLNEY, W.J.A., KOEHLER, G.S., BROWNE, L.E., BARCLEY, L.W., MILSTEAD, J.E. ET LEWIS, V.R. 1983. Sampling for California oakworm on Landscape Oaks. Calif. Agri. 37 : 8-9

WAINMAN, N. ET MATHEWES, R.W. 1987. Forest history of the last 12 000 years based on plant macrofossil analysis of sediment from Marion Lake, southwestern British Columbia. Can. J. Bot. 65(11) : 2179-2187.