

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

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

PAR
VALÉRIE LEVASSEUR
Bachelière ès sciences (B.Sc.)

ANALYSE DENDROÉCOLOGIQUE DE L'IMPACT DE LA TORDEUSE DES
BOURGEONS DE L'ÉPINETTE (*Choristoneura fumiferana*) SUIVANT UN
GRADIENT LATITUDINAL EN ZONE BORÉALE AU QUÉBEC

AOÛT 2000



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

Au Québec, il est connu que les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) affectent la croissance des peuplements de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) et d'épinette noire (*Picea mariana* Mill. BSP) situés dans la zone boréale à proximité du 50^e parallèle. La défoliation subie par ces arbres hôtes se traduit par la formation de cernes de croissance plus étroits en période épidémique. Cependant, à des latitudes plus élevées, l'impact des épidémies est peu connu. La croissance d'arbres hôtes de la tordeuse a donc été étudiée par analyse dendroécologique dans un secteur situé entre Chibougamau et Radisson. Puisque ces arbres hôtes sont répartis sur de vastes territoires, il peut être posé comme hypothèse que la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourrait aussi avoir une vaste distribution. Toutefois, l'impact de celle-ci, à des latitudes plus élevées, serait moindre étant donné les conditions climatiques plus difficiles. La présente étude a donc pour objectifs de vérifier l'existence de signes d'épidémies passées de la tordeuse dans des régions du nord de la zone boréale au Québec et de comparer ces réductions de croissance avec les périodes épidémiques connues des régions méridionales, quant à leur synchronisme, leur durée et leur impact. Ainsi, dix sites d'arbres hôtes (sapin baumier et/ou épinette noire) ont été échantillonnés, à intervalles réguliers, le long d'un transect couvrant les latitudes de 49°58'N à 53°29'N et les longitudes de 74°14'O à 77°56'O. De plus, deux sites de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.), des arbres non hôtes de la tordeuse, ont été échantillonnés à mi-parcours afin d'être utilisés comme contrôle. Les chronologies hôtes obtenues ont été comparées avec celle des arbres non-hôtes. En général, la croissance des arbres hôtes est semblable à celle des non hôtes, à l'exception de certaines périodes où la croissance des arbres hôtes est considérablement

réduite par rapport à celle des arbres non hôtes. En comparant ces réductions de croissance avec les périodes épidémiques connues pour les régions plus méridionales, il est possible de constater que celles-ci sont synchrones, tant chez les sapins baumiers que les épinettes noires. Les résultats démontrent que certaines épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont eu un impact significatif sur la croissance des sapins baumiers et des épinettes noires jusqu'au 53^e parallèle. Toutefois, le taux de réduction de croissance est supérieur chez les arbres des sites les plus au sud et la proportion d'arbres affectés est légèrement plus forte dans ces sites. De plus, dans les sites localisés au sud du transect, les arbres répondent de façon plus uniforme aux attaques de la tordeuse à l'intérieur d'un même peuplement, alors qu'au nord, il semble que tous les arbres d'un peuplement ne soient pas affectés de la même façon par la tordeuse. Or, malgré la diminution de l'impact de cet insecte vers le nord, les résultats obtenus montrent tout de même des périodes de réductions de croissance pouvant être attribuables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette jusqu'au 53^e parallèle.

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur Hubert Morin pour ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce projet. Je voudrais aussi remercier Cornelia Krause pour l'aide qu'elle m'a apporté lors de l'analyse de mes données. Un gros merci à Germain Savard pour son aide indispensable sur le terrain et au laboratoire.

Merci à Michel Giroux pour son soutien et sa patience ainsi qu'à mes parents pour leur encouragement continu tout au long de ma formation.

Ce travail a été rendu possible grâce au support financier et logistique du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) et du Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale.

Table des matières

Résumé	II
Remerciements	IV
Table des matières	V
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
 CHAPITRE 1	
INTRODUCTION	1
 CHAPITRE 2	
REVUE DE LITTÉRATURE	6
2.1 Dynamique de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	7
2.2 Espèces hôtes de la tordeuse	8
2.3 Distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	8
2.4 Effet de la tordeuse sur la croissance des arbres hôtes	10
2.5 Étude dendroécologique	12
2.6 Épidémies connues	13
 CHAPITRE 3	
MATÉRIEL ET MÉTHODES	15
3.1 Aire d'étude	16
3.2 Sites d'échantillonnage	16
3.3 Méthode d'échantillonnage	19
3.4 Méthode de mesure	20
3.5 Interdatation	21
3.6 Standardisation des données	24
3.7 Programme Impact	24
3.8 Programme Outbreak	25

CHAPITRE 4

RÉSULTATS	27
4.1 Chronologies hôtes	28
4.1.1 <i>Sapins baumiers</i>	28
4.1.2 <i>Épinettes noires</i>	31
4.2 Cernes discontinus ou absents	34
4.3 Comparaison hôtes et non hôtes	35
4.4 Analyse des cimes	38
4.5 Analyse de tige	40
4.6 Calcul de l'impact des épidémies	42
4.6.1 <i>Sapins baumiers</i>	42
4.6.2 <i>Épinettes noires</i>	45
4.7 Proportion d'arbres affectés par la tordeuse	47
4.7.1 <i>Sapins baumiers</i>	48
4.7.2 <i>Épinettes noires</i>	51

CHAPITRE 5

DISCUSSION	54
5.1 Évidences de la présence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	55
5.1.1 <i>Réductions de croissance</i>	55
5.1.2 <i>Comparaison de la croissance des arbres hôtes et non hôtes</i>	55
5.1.3 <i>Cernes discontinus ou absents</i>	57
5.1.4 <i>Patron des réductions de croissance le long de la tige</i>	58
5.2 Types de peuplements affectés	59
5.3 Synchronisme des épidémies	60
5.4 Impact des épidémies	62
5.5 Durée des épidémies	63
5.6 Proportion d'arbres affectés	63
5.7 Influence du climat	66

CHAPITRE 6	
CONCLUSION	69
RÉFÉRENCES	73
ANNEXES	84
Annexe 1	85
Annexe 2	86

Liste des figures

Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage.....	17
Figure 2. Chronologies indicées des sapins baumiers.....	29
Figure 3. Chronologies indicées des épinettes noires	32
Figure 4. Nombre de cernes absents ou discontinus retrouvés sur l'ensemble des échantillons étudiés en fonction des années.....	34
Figure 5. Comparaison de courbes hôtes de la tordeuse a) des sapins baumiers et b) des épinettes noires des sites BJ1, BJ5 et BJ10 avec celle des pins gris du site BJ4 (non hôtes)	36
Figure 6. Comparaison entre la courbe de croissance indicée de la cime et celle de la base pour une même épinette noire a) du site BJ3, b) du site BJ5 et c) du site BJ9.....	39
Figure 7. Comparaison des courbes de croissance indicées obtenues par l'analyse de tige à différentes hauteurs a) d'un sapin baumier du site BJ6 et b) d'une épinette noire du site BJ8	41
Figure 8. Réductions de croissance supérieures à 30 % comparativement à la moyenne des cinq années précédentes et courbes de croissance et du nombre d'individus en fonction des années pour les sapins baumiers	43
Figure 9. Réductions de croissance supérieures à 30 % comparativement à la moyenne des cinq années précédentes et courbes de croissance et du nombre d'individus en fonction des années pour les épinettes noires.....	46
Figure 10. Pourcentage de sapins baumiers présentant une réduction de croissance significative typique d'une épidémie de tordeuse et courbe du nombre d'individus en fonction des années.....	49
Figure 11. Pourcentage d'épinettes noires présentant une réduction de croissance significative typique d'une épidémie de tordeuse et courbe du nombre d'individus en fonction des années.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre d'arbres éliminés des analyses 23

Tableau 2. Corrélation entre la croissance des arbres hôtes de la tordeuse
et celle des arbres non hôtes pour les périodes endémiques connues..... 37

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1. Introduction

La connaissance des perturbations naturelles qui affectent la forêt est essentielle à la compréhension de la dynamique des peuplements qui la composent. Outre les feux, qui ont un impact particulièrement important en forêt boréale (Cogbill 1985), la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) constitue également une perturbation naturelle qui influence considérablement la dynamique des peuplements de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) (MacLean 1984, 1988; Morin et Laprise 1990). En forêt boréale, des épidémies de cet insecte se sont produites de façon récurrente depuis des siècles (Blais 1962, 1965, 1983b; Krause 1997; Morin 1998; Morin et Laprise 1990).

La tordeuse des bourgeons de l'épinette est un insecte indigène qui a toujours été présent dans les forêts conifériennes du nord (Graham et Orr 1940). C'est l'insecte qui cause le plus de dommages à ces forêts dans l'est de l'Amérique du Nord. La dernière épidémie, qui a sévi entre 1974 et 1988 a dévasté plus de 55 millions d'hectares de forêt, détruisant entre 139 et 238 millions de mètres cubes d'épinettes (*Picea* sp.) et de sapins, soit l'équivalent de dix années de coupe forestière intensive (Blais 1983b; Morin 1998).

Une défoliation soutenue pendant plusieurs années par la tordeuse peut entraîner une mortalité importante du sapin baumier et de l'épinette (MacLean et MacKinnon 1997). De plus, les arbres qui survivent au passage d'une épidémie peuvent voir leur croissance en volume réduite de façon significative pendant plusieurs années. Ces réductions de croissance occasionnent des pertes importantes de matière ligneuse chez les peuplements défoliés (MacLean 1981; Archambault et Beaulieu 1985). Ainsi, les dommages causés par la tordeuse peuvent réduire dramatiquement les réserves de bois à court et à long terme (MacLean 1985). Les conséquences économiques de la perte en volume de bois due à la mortalité causée par la tordeuse ou la diminution du potentiel de production future entraînée par un ralentissement de la croissance des arbres, doivent être sérieusement considérées dans les plans d'aménagement des forêts (MacLean 1980).

Au Québec, l'historique, la dynamique et l'impact des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont bien connus pour les régions méridionales, près des zones habitées et exploitées. Selon certains auteurs, les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette seraient reliées à la composition de la forêt et elles se produiraient principalement lorsque des peuplements matures de sapins baumiers couvrent de larges superficies (Blais 1961, 1968, 1983b, 1985; Hardy *et al.* 1983).

Or, des études ont montré que cet effet drastique des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pouvait atteindre des régions situées au nord du 50^e parallèle, dans le milieu de la forêt boréale, là où l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) domine et où elle est intensivement récoltée pour sa grande valeur (Morin 1994). Dû à cette récolte intensive de bois dans les régions nordiques, la connaissance de l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette s'avère essentielle. Toutefois, aucune étude n'a été réalisée au-delà du 50^e parallèle afin de vérifier et d'évaluer si cette dynamique des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est toujours présente.

Ainsi, l'aire de répartition réelle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est peu connue. Sa distribution actuelle se base surtout sur la cartographie de la défoliation estimée à partir d'évaluations visuelles. Or, les inventaires terrestres et aériens effectués en période épidémique permettent de cartographier la défoliation conséquente de populations élevées de tordeuses. Cependant, cette méthode ne renseigne pas sur les populations dont la densité est faible ou moyenne, car la défoliation est difficilement détectable dans ce cas (Régnière 1984; Morin 1995).

L'objectif de cette étude est donc de vérifier, par l'analyse dendroécologique, la présence de signes d'épidémies passées de la tordeuse

des bourgeons de l'épinette au nord du 50^e parallèle et d'en faire la comparaison avec les périodes épidémiques connues des régions méridionales, au plan de leur synchronisme, de leur impact et de leur durée.

Considérant que des études antérieures ont démontré l'effet marqué des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette jusqu'au 50^e parallèle (Morin 1994) et puisque le sapin baumier et l'épinette noire, qui sont des arbres hôtes de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Blais 1962), sont répartis sur de vastes territoires (Payette 1993), il est posé comme hypothèse que la tordeuse pourrait elle aussi avoir une vaste distribution et qu'elle pourrait même avoir un impact significatif sur la croissance de ses hôtes au-delà du 50^e parallèle. Il est également supposé qu'en raison des conditions climatiques difficiles qui prévalent à des latitudes plus élevées, les épidémies auraient toutefois un impact moins important sur la croissance des arbres.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

2. Revue de littérature

2.1 Dynamique de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) est indigène dans l'est de l'Amérique du Nord (Blais 1983b; Kettela 1983). Les épidémies de la tordeuse sont des phénomènes naturels, résultat de la coévolution d'un système plante-insecte (Blais 1983b; 1985) et elles se produisent depuis des siècles sur le continent (Harvey 1985). Ces épidémies sont même bénéfiques pour les forêts de sapins baumiers puisqu'en détruisant des quantités considérables d'arbres matures et surannés, elles permettent le renouvellement de ces peuplements par la stimulation de la régénération. Cependant, cette destruction répétitive à grande échelle de ces forêts a des conséquences socio-économiques sérieuses (Blais 1983b; Morin 1994). En effet, la tordeuse des bourgeons de l'épinette constitue l'insecte forestier le plus destructeur en Amérique du Nord, que ce soit en termes de superficie infestée, de nombre ou de volume d'arbres détruits ou encore de fréquence et de durée des infestations (Kettela 1983).

2.2 Espèces hôtes de la tordeuse

Les principales espèces hôtes de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est de l'Amérique du Nord sont le sapin baumier, l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss.), l'épinette noire et l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) (Blais 1957, 1962, 1984; Harvey 1985). Toutefois, le sapin baumier demeure l'hôte privilégié de la tordeuse (Blais 1962).

2.3 Distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La tordeuse des bourgeons de l'épinette est l'espèce du genre *Choristoneura* la plus étendue en Amérique du Nord. Elle est associée principalement à la forêt boréale mais aussi aux régions forestières Acadiennes, du Saint-Laurent et des Grands Lacs (Brown 1970; Harvey 1985). La tordeuse est présente partout où le sapin baumier et l'épinette blanche forment de vastes étendues continues et où le sapin baumier est l'espèce prédominante (Mott 1963; Blais 1968).

Dans la partie est et centrale du continent, la distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est bien connue. Sa distribution nordique s'étend pratiquement de l'est jusqu'au centre du Canada, à proximité de la limite du sapin baumier (Harvey 1985). Au Québec, la tordeuse est retrouvée dans toutes

les régions où le sapin baumier est présent et elle peut atteindre des proportions épidémiques dans toute l'aire de répartition de cette espèce hôte, incluant la Haute Côte Nord (Blais 1983a; Harvey 1985). De petites infestations se sont même produites au Labrador en 1980, ce qui montre que la tordeuse peut être présente à la limite nord de l'aire de distribution du sapin baumier dans cette région (Harvey 1985). Selon la carte de distribution produite par Harvey (1985), la tordeuse des bourgeons de l'épinette atteindrait les régions situées aux alentours du 53^e parallèle à l'ouest du Québec et même le 55^e parallèle à l'est de la province, ce qui correspond à la limite nord de distribution du sapin baumier au Québec (Payette 1993). Dans l'ouest du Canada, des secteurs d'infestations ont été détectés au-delà de l'aire de répartition du sapin baumier dans les peuplements purs d'épinettes (Harvey 1985), jusqu'au 65^e parallèle (Shepherd *et al.* 1995).

Selon Mattson, Simmons et Witter (1988), les facteurs suivants seraient des prérequis aux épidémies de la tordeuse et aux dommages sévères: une composition élevée en arbres matures; des peuplements étendus et continus de sapins et d'épinettes; une proportion de sapins baumiers élevée; une élévation de moins de 700 mètres d'altitude et des latitudes au sud du 50^e parallèle nord. Ainsi, les régions où l'épinette noire est abondante et où le sapin baumier l'est moins ne pourraient pas supporter de fortes populations de

tordeuses pendant de longues périodes. Ceci expliquerait le fait que les peuplements purs d'épinettes noires sont rarement détruits par la tordeuse (Blais et Archambault 1982).

Or, les détails de la distribution des insectes comme la tordeuse sont basés principalement sur les périodes de moyenne et de haute densité de population. Ainsi, de faibles densités d'insectes peuvent probablement être trouvées bien en-dehors des aires où les épidémies se produisent, peut-être jusqu'à la limite de distribution de leurs hôtes majeurs (Harvey 1985).

2.4 Effet de la tordeuse sur la croissance des arbres hôtes

Les chenilles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette se nourrissent normalement du jeune feuillage des espèces hôtes durant les stades larvaires trois à six de leur développement. Cependant, en période épidémique, la densité des populations de tordeuse augmente d'une façon telle qu'elles vont se nourrir également du feuillage des années antérieures. Cette augmentation du broutage des aiguilles entraîne une défoliation importante chez les arbres hôtes (Swaine et Craighead 1924; Blais 1962; Royama 1984; Morin 1995). Cette défoliation subie par les arbres provoque un ralentissement de la croissance qui se traduit par la formation de cernes de croissance beaucoup plus étroits

(Swaine et Craighead 1924; Blais 1962). Cependant, il a été observé antérieurement que pour un échantillon prélevé à 1,3 mètre, soit au diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la première année de réduction majeure de croissance perçue dans les cernes se produit approximativement de deux à quatre ans après la première année de défoliation sévère, mais cette réduction de croissance se poursuit quelques années après que la défoliation ait cessée (Blais 1958, 1962; Gionest 1999).

Lorsque qu'une défoliation sévère perdure durant plus de quatre ans, les arbres commencent alors à mourir. La mortalité dans les peuplements matures de sapins approche les 100 % tandis que le sapin en peuplements immatures et l'épinette accusent des taux de mortalité plus faibles et plus variables (MacLean 1980).

L'étude des cernes de croissance des arbres devient alors une méthode utile pour retracer les épidémies s'étant produites dans le passé ou dans des régions isolées où peu de données sont disponibles (Swaine et Craighead 1924; Blais 1962; Morin *et al.* 1993).

2.5 Étude dendroécologique

L'analyse dendroécologique consiste à dater les cernes de croissance des arbres dans le but d'étudier des événements écologiques passés (Fritts 1971). Cette méthode d'analyse est fréquemment utilisée lors d'études de l'effet d'épidémies d'insectes défoliateurs, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, le diprion de swaine (*Neodiprion swainei* (Midd.)) et la tenthrede du mélèze (*Pristiphora erichsonii* (Hartig.)) (Blais 1962; O'Neil 1963; Jardon *et al.* 1994). La méthode utilisée est généralement basée sur la comparaison des patrons de croissance des espèces hôtes et non hôtes (Blais 1962; Swetnam *et al.* 1985). L'effet de la défoliation par des insectes sur la croissance radiale peut être isolé des effets du climat ou d'autres perturbations par la comparaison des patrons de croissance entre les arbres hôtes et les arbres non hôtes, c'est-à-dire entre ceux défoliés et ceux non défoliés (Blais 1962, 1965; Swetnam *et al.* 1985; Swetnam et Lynch 1989).

En l'absence d'arbres non hôtes, l'analyse dendroécologique peut se faire à partir des informations connues sur les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Tout d'abord, la tordeuse est le seul insecte capable de causer des dommages importants en même temps au sapin et aux épinettes (Blais 1962). De plus, il est connu que la réduction de croissance provoquée suite à une défoliation par la tordeuse présente un patron particulier qui s'étend

sur plusieurs années comparativement aux effets du climat qui sont plus ponctuels. En effet, le patron de la réduction de croissance causée par la tordeuse est typique. Il est graduel au début et atteint son point le plus bas, puis l'arbre retrouve lentement sa croissance normale (Swaine et Craighead 1924; Blais 1962), ce qui entraîne une dépression en forme de vallée dans les courbes de croissance (Morin 1998). De plus, ces réductions sont caractérisées par une diminution de la variation inter-annuelle de la croissance (Morin 1998). Enfin, au moment d'une défoliation sévère, les cernes deviennent très étroits et quelques-uns parfois, sont même absents ou formés partiellement sur la circonférence de l'arbre (Blais 1962; O'Neil 1963; Fritts 1971; Swetnam *et al.* 1985; Swetnam et Lynch 1989).

2.6 Épidémies connues

À partir des analyses dendroécologiques, plusieurs épidémies s'étant produites dans le passé ont pu être retracées. Au Québec, la région la plus nordique qui a été étudiée est située au nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Dans cette région, la dernière épidémie s'étant produite de 1974 à 1988 a été longue (14 ans) et sévère (Morin 1998; Morin et Laprise 1990). Cependant, cette épidémie n'a pas duré aussi longtemps et n'a pas été aussi intense que dans les régions plus méridionales (Blais 1983b; Hardy 1984). L'épidémie de 1944 à

1953 a été moins sévère que celle de 1974 (Morin 1998; Morin et Laprise 1990). Au XX^e siècle, une autre épidémie s'est produite de 1909 à 1923 et son intensité était comparable à celle de 1974 (Morin 1998; Morin et Laprise 1990). Cette épidémie du début du siècle s'est produite en deux vagues de défoliation séparées par un intervalle de deux ans (Blais 1965; Morin et Laprise 1990). Au XIX^e siècle, trois épidémies sont connues et bien documentées soit celle de 1868 à 1878 qui aurait été légère (Morin et Laprise 1990; Morin 1994; Krause 1996, 1997). Une autre épidémie légère s'est également produite entre 1835 et 1841 (Blais 1965, 1983b; Morin et Laprise 1990; Krause 1996; 1997). Elle aurait entraîné peu de mortalité dans la région de la Réserve des Laurentides (Blais 1965, 1983b). Enfin, une troisième épidémie s'est produite entre 1810 et 1815 (Blais 1965; Krause 1996).

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3. Matériel et méthodes

3.1 Aire d'étude

La région d'étude fut déterminée en fonction de sa bonne représentation d'un gradient latitudinal et de son accessibilité en voiture. Ainsi, l'aire étudiée fut délimitée entre le 49°58' et le 53°29' de latitude nord et le 70°14' et le 77°25' de longitude ouest, le long de la route du Nord et de la route de Matagami (figure 1). Ce territoire couvre les régions forestières B.1b, B.5, B.6 et B.13b (Rowe 1972) et fait partie de la zone de la forêt boréale, dans le domaine de la pessière noire à mousse (Thibault 1985).

3.2 Sites d'échantillonnage

Les sites d'échantillonnage ont été ciblés à partir des cartes d'inventaire forestier du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, en repérant tous les peuplements âgés, formés d'espèces hôtes de la tordeuse (sapin baumier, épinette blanche et épinette noire) qui étaient accessibles par la route. De plus, ces sites devaient être répartis à intervalles relativement réguliers le long de ce transect, soit à tous les 100 kilomètres approximativement, de façon à échantillonner deux sites par degré de latitude. Finalement, le sapin baumier et l'épinette noire sont les espèces hôtes de la tordeuse qui ont été

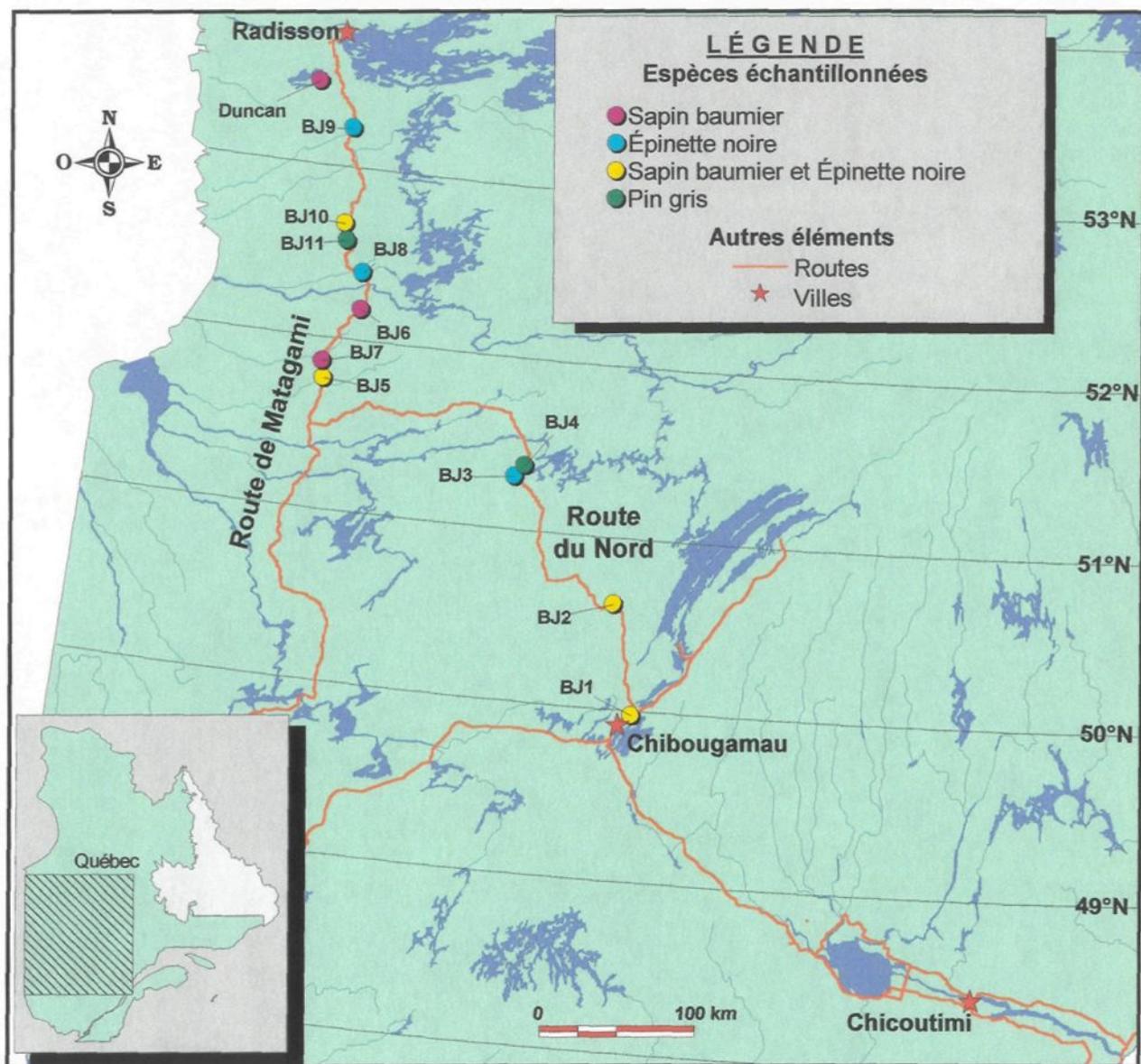


Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage

échantillonnées, en raison de leur présence tout au long du transect. Les sites devaient, autant que possible, présenter ces deux espèces, ou sinon une des deux. Les peuplements choisis devaient être suffisamment âgés, c'est-à-dire que les arbres récoltés devaient avoir au moins 90 ans, afin de couvrir la plus longue période de temps possible. Afin de s'assurer de l'homogénéité des peuplements échantillonnés, les sites choisis devaient présenter un drainage de type mésique et avoir une pente nulle à légère.

En plus des deux espèces hôtes, une espèce non hôte, c'est-à-dire qui n'est pas affectée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, a été échantillonnée. L'espèce choisie fut le pin gris étant donné que seule cette espèce non hôte était retrouvée tout au long du transect et que celle-ci a été utilisée avec succès lors d'études antérieures (Morin et Laprise 1990). Bien que cette espèce soit affectée par le diprion de Swaine, les épidémies de cet insecte n'interfèrent pas avec celles de la tordeuse puisqu'elles se sont produites de 1937 à 1943, de 1951 à 1957, de 1960 à 1964 et de 1966 à 1971 (Caron 1990).

L'échantillonnage de l'ensemble des sites a été effectué en deux étapes : la première du 12 au 16 août et la seconde du 16 au 20 septembre 1996. Au total, dix sites d'arbres hôtes et deux d'arbres non hôtes ont été échantillonnés (figure 1).

Pour chaque site, 20 arbres dominants de l'espèce désirée étaient échantillonnés. Cependant, pour les sites les plus au nord, le sapin baumier étant plus rare, il fut parfois impossible de trouver 20 individus. Dans ce cas, moins de 20 échantillons de sapins ont été récoltés. De même, dans certains sites, le sapin baumier était absent, par conséquent, seule l'épinette noire fut échantillonnée.

Au total, 260 arbres ont été échantillonnés soit: 140 épinettes noires, 80 sapins baumiers et 40 pins gris. Aux quatre-vingt sapins baumiers échantillonnés, ont été ajoutés 33 sapins supplémentaires ayant été recueillis autour du lac Duncan (53°29'N, 77°56'O), lors d'une étude antérieure réalisée en 1994 (Communication personnelle de Luc Sirois).

3.3 Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage des arbres a été effectué en prélevant une rondelle à leur base. De plus, pour chaque arbre échantillonné, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) a été noté. À partir du 51^e parallèle, en plus de prélever une rondelle à la base, une rondelle a aussi été coupée au centre de la cime des arbres assez âgés. Cet échantillon a été prélevé étant donné que cette partie de l'arbre est plus sensible aux attaques de la tordeuse (Mott *et al.* 1957; Blais

1958; 1962; Swetnam *et al.* 1985; Krause et Morin 1995b). Dans l'aire d'échantillonnage située au nord du 52^e parallèle, en plus des rondelles à la base et dans la cime, trois sapins baumiers et trois épinettes noires ont également été récoltés pour réaliser une analyse de tige. Cette méthode consiste à prélever plusieurs rondelles sur la tige. Les hauteurs d'échantillonnage choisies sont : à la base de l'arbre, à 30 centimètres, à 60 centimètres, à 1 mètre, à 1,3 mètre, à 2 mètres et ensuite à tous les mètres jusqu'au sommet de l'arbre.

Pour chaque site d'échantillonnage, un relevé de végétation a été fait en notant le pourcentage de recouvrement de toutes les espèces présentes. En plus, une brève description du sol a été réalisée afin de s'assurer que tous les sites hôtes étaient mésiques et non xériques. Ces observations ont ainsi permis de vérifier l'homogénéité des sites d'échantillonnage.

3.4 Méthode de mesure

Au laboratoire, l'analyse des échantillons s'est déroulée suivant la méthode proposée par Blais (1962) et Swetnam *et al.* (1985). Tout d'abord, les sections radiales ont été finement sablées (papier à sabler de grains de grosseur 80, 220 et 400). L'âge des arbres a ensuite été déterminé en

comptant, sous une loupe binoculaire, le nombre de cernes de croissance. Cependant, l'âge qui a été compté doit être considéré comme un âge minimum puisque les rondelles n'ont pas été prélevées au collet des arbres (Desrochers 1996). De plus, quelques rondelles présentaient de la pourriture au niveau du cœur. Par conséquent, il fut impossible de compter la totalité des cernes de croissance sur celles-ci.

Une fois le nombre de cernes compté, leur largeur a été mesurée sur chaque rondelle le long de deux rayons. Cette mesure a été effectuée à l'aide de deux appareils dont la précision est de 0,01 millimètre : le MacDendro (Guay *et al.* 1992) et la table dendrométrique de marque Henson dans le cas des échantillons dont les cernes de croissance étaient très étroits ou mal définis.

3.5 Interdatation

Les mesures de largeurs de cernes ont ensuite été placées sous forme de graphiques présentant la largeur des cernes de croissance en fonction des années afin de procéder à l'interdatation. Cette opération a été réalisée par superposition des graphiques sur une table lumineuse (Stokes et Smiley 1968; Fritts 1976). Cette méthode permet d'effectuer un contrôle temporel des mesures réalisées (Swetnam *et al.* 1985) par comparaison des patrons de

croissance des arbres. L'interdatation est possible étant donné que des conditions environnementales similaires limitent la croissance des arbres pour une même région et que les fluctuations annuelles induites par les facteurs limitant la croissance produisent des variations dans la largeur des cernes de croissance qui sont synchrones (Fritts 1971, 1976).

Ainsi, les deux rayons d'une même rondelle ont été interdatés ensemble. La moyenne de ces deux rayons fut calculée afin d'obtenir une courbe moyenne pour chaque arbre. Ensuite, ces courbes moyennes des arbres d'une même espèce et d'un même site ont été interdatées pour obtenir une courbe moyenne finale par espèce et par site. Enfin, l'interdatation des courbes moyennes finales par espèce a été réalisée entre chacun des sites d'échantillonnage.

L'interdatation permet donc de retracer certaines erreurs techniques de mesure et de détecter les cernes discontinus ou absents (O'Neil 1963; Fritts 1971, 1976; Swetnam *et al.* 1985; Fritts et Swetnam 1989). Les corrections nécessaires ont été apportées tout au long de cette étape.

Par ailleurs, certains arbres ont dû être éliminés des analyses étant donné l'impossibilité de les interdater correctement vu le trop grand nombre de cernes absents ou l'état de décomposition avancée (tableau 1). De plus, le

deuxième site de pins gris (BJ11) a dû être retiré complètement des analyses puisque ces arbres présentaient une trop faible croissance (largeur moyenne des cernes de croissance: 0,54 mm) et une extrême variabilité entre chaque arbre, rendant ainsi les courbes de croissance non interdatables.

Tableau 1. Nombre d'arbres éliminés des analyses

Sites	Nombres d'arbres éliminés par espèce		
	Sapin baumier	Épinette noire	Pin gris
BJ1	0/20	0/20	—
BJ2	0/20	0/20	—
BJ3	—	1/20	—
BJ4	—	—	0/20
BJ5	1/6	0/20	—
BJ6	0/2	—	—
BJ7	3/11	—	—
BJ8	—	0/20	—
BJ9	—	1/20	—
BJ10	0/20	0/20	—
BJ11	—	—	20/20
Lac Duncan	2/35	—	—

Enfin, lors de l'interdatation, les données ont également été traitées à l'aide du programme informatique appelé Cofecha (Holmes 1983). Ce programme effectue une interdatation statistique des données et identifie celles qui sont moins bien corrélées et propose certaines possibilités de correction.

3.6 Standardisation des données

La standardisation permet la comparaison des arbres entre eux malgré leur différence de taille et de provenance (Swetnam *et al.* 1985; Morin *et al.* 1993). Elle permet aussi de diminuer les effets des facteurs autres que les épidémies qui peuvent influencer la croissance des arbres, comme l'âge de l'arbre et la situation géographique de chaque individu, en transformant les mesures de largeur de cernes en valeurs relatives (Fritts 1971, 1976; Swetnam *et al.* 1985). Cette standardisation a été effectuée à l'aide du programme Arstan (Cook et Holmes 1986). Pour cette étude, une double standardisation a été effectuée, tout d'abord par une fonction linéaire ou une fonction exponentielle négative suivie de l'application d'une moyenne mobile de 50 ans. De cette façon, les tendances de croissance à long terme, souvent reliées à l'âge des arbres ou au site, ont été éliminées alors que les variations à court terme (15 ans et moins), souvent reliées aux épidémies d'insectes ou au climat, ont été conservées (Swetnam *et al.* 1995).

3.7 Programme Impact

Afin de calculer le taux de réduction de croissance subie par les arbres lors des différentes périodes épidémiques, le programme Impact a été utilisé (Schweingruber 1986). Ce programme procède par comparaison de la

croissance des arbres en période épidémique avec la croissance moyenne de ces arbres avant épidémie (cinq ans avant, dans le cas de cette étude). Selon Schweingruber (1986), toute réduction de croissance supérieure à 40 % est considérée comme un changement abrupt et significatif dans la croissance des conifères. Cependant, pour cette étude, le seuil considéré a été fixé à 30 %, étant donné que la plupart des arbres analysés avaient une croissance moyenne très faible due aux conditions climatiques difficiles caractérisant les sites d'échantillonnage.

3.8 Programme Outbreak

Le programme Outbreak a été utilisé (Holmes et Swetnam 1996) afin de mesurer la proportion d'arbres affectés lors des diverses épidémies de tordeuse. En plus de calculer la proportion d'arbres affectés, ce programme permet un certain contrôle des chronologies hôtes par leur comparaison avec celle des arbres non hôtes. Ceci permet de vérifier si les réductions de croissance enregistrées chez les arbres hôtes sont effectivement dues à la tordeuse ou plutôt à des conditions climatiques (Swetnam *et al.* 1985). La comparaison des chronologies hôtes et non hôtes permet ainsi une base objective de distinction entre les effets climatiques et ceux occasionnés suite à une défoliation par des insectes (Swetnam *et al.* 1995).

En premier lieu, les courbes de croissance des arbres hôtes et des non hôtes ont graphiquement et statistiquement été comparées afin de déterminer si les différentes espèces répondent de façon similaire au climat mais différemment durant les périodes de défoliation connues de la tordeuse (Swetnam et Lynch 1989). La comparaison graphique a été effectuée en interdatant les courbes de croissance des hôtes et des non hôtes. La comparaison statistique a été réalisée par l'application d'un test de corrélation entre les chronologies hôtes et non hôtes pour les périodes non épidémiques connues dans la littérature. Lors de cette opération, les données correspondant aux années d'épidémies connues (1974 à 1988, 1944 à 1953 et 1909 à 1923) ont donc été enlevées des chronologies.

Par la suite, à l'aide du programme Outbreak, la correction des chronologies hôtes par soustraction de la chronologie des arbres non hôtes a été effectuée, permettant ainsi un contrôle climatique (Swetnam *et al.* 1985). Enfin, à partir de la chronologie corrigée obtenue, le programme a retracé les périodes pouvant être considérées comme étant des épidémies. Pour que le programme considère une réduction de croissance comme étant une épidémie, cette réduction devait atteindre le seuil d'écart-type de -1,28 (Holmes et Swetnam 1996) sur une période minimale de huit ans (durée minimum des épidémies passées pour la région du nord du lac Saint-Jean).

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4. Résultats

4.1 Chronologies hôtes

4.1.1 *Sapins baumiers*

L'étude de la croissance radiale des sapins baumiers a permis d'obtenir des chronologies indicées dont la plus longue couvre les années 1776 à 1993 (figure 2). Quatre de ces chronologies sont constituées de 20 individus ou plus (BJ1, BJ2, BJ10 et Duncan) alors que les trois autres comprennent moins de neuf individus (BJ5, BJ7 et BJ6).

Les courbes obtenues permettent de constater que les sapins baumiers des sites étudiés présentent des réductions de croissance importantes. Ces périodes identifiées en noir sur les courbes, sont caractérisées par une croissance inférieure à l'indice 1 sur une période minimale de huit ans, pouvant être entrecoupée d'une année où la croissance est au-dessus de l'indice 1. Cependant, il est important de considérer que les réductions enregistrées au début de la croissance des arbres des sites BJ1, BJ7, BJ6, BJ10 et Duncan sont amplifiées par la standardisation étant donné le nombre d'échantillons très faible dans cette portion des chronologies.

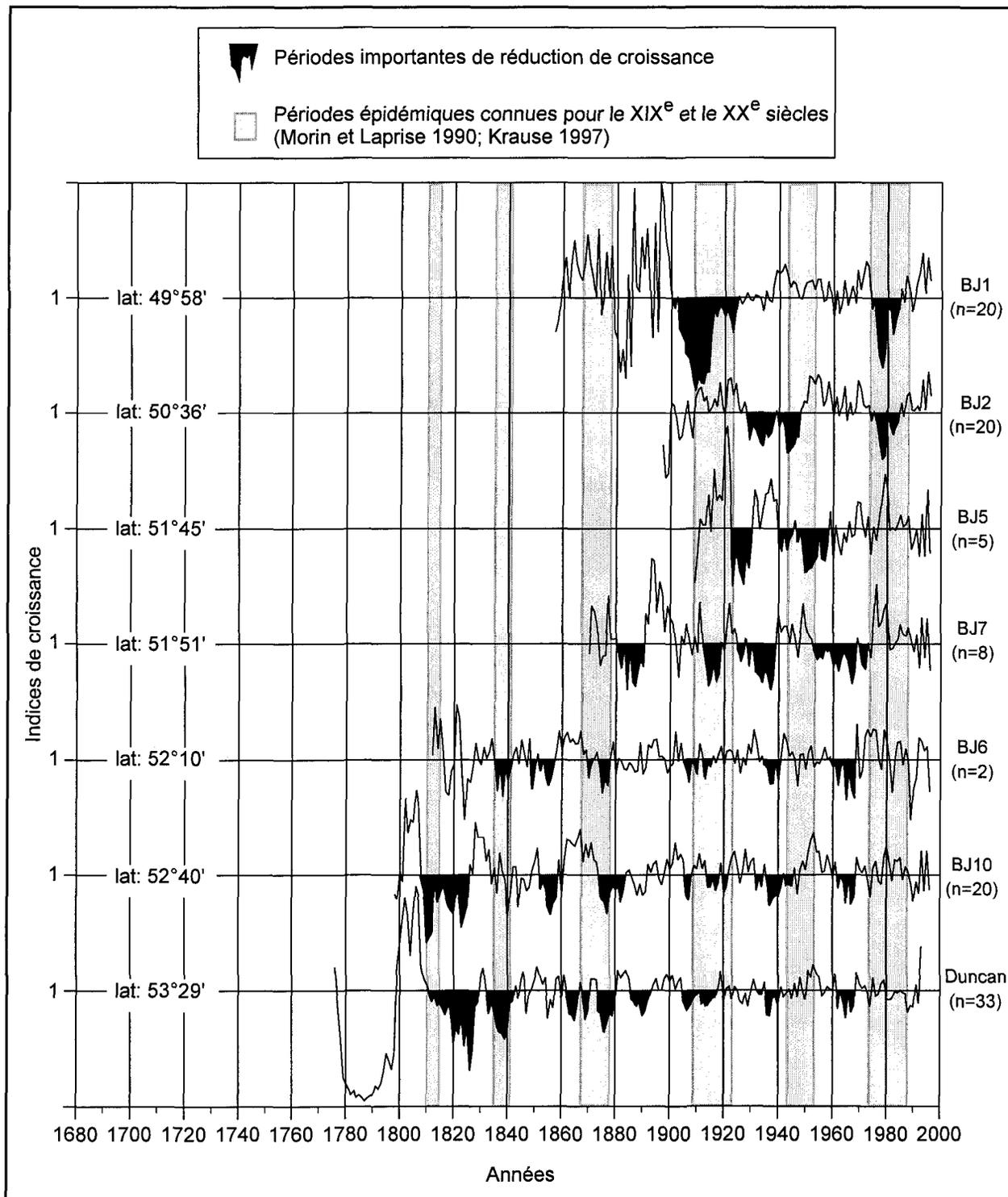


Figure 2. Chronologies indicées des sapins baumiers

Il est possible de constater que les sapins baumiers des sites BJ1 et BJ2 présentent deux importantes périodes de réduction de croissance, soit autour de 1978 et 1909 pour BJ1 et autour de 1978 et 1940 pour BJ2. Ces périodes sont caractérisées par une croissance dont la variation inter-annuelle est beaucoup plus faible. Les arbres du site BJ5 présentent aussi deux de ces périodes à faible variation inter-annuelle de croissance alors que les sapins du sites BJ7 ont subi quatre périodes de croissance réduites du même genre. Pour les autres sites plus au nord, les réductions de croissance sont plus nombreuses mais aussi moins prononcées. Pour certaines, la diminution de la variation inter-annuelle est tout de même présente.

Plusieurs de ces périodes de faible croissance sont synchrones d'un site à l'autre, tout au long du transect. En effet, les trois dernières réductions enregistrées par les sapins du site BJ7, soit celles autour de 1915, 1935 et 1965, sont également présentes chez les sapins des sites BJ6, BJ10 et Duncan. La réduction du début du XX^e siècle est aussi enregistrée par les sapins baumiers du site BJ1. Un tel synchronisme est également observé en ce qui concerne les réductions enregistrées autour de 1838 chez les sapins des sites BJ6 et Duncan ainsi qu'autour de 1875 chez les sapins des sites BJ6, BJ10 et Duncan.

4.1.2 Épinettes noires

De la même façon que pour les sapins baumiers, l'étude de la croissance radiale des épinettes noires a permis d'obtenir sept chronologies indicées dont la plus longue remonte à 1697 (figure 3). Chacune de ces chronologies est constituée de 19 ou 20 individus.

Comme pour les sapins baumiers, les chronologies des épinettes noires présentent des périodes importantes de réduction de croissance. Ces périodes, marquées en noir sur les courbes, ont été identifiées selon les mêmes critères que pour les sapins baumiers.

Il est possible de constater que l'ampleur de ces réductions de croissance varie d'un site à l'autre. Les épinettes noires des sites BJ1, BJ2 et BJ3 ont enregistré une réduction de croissance autour de 1978 qui est plus prononcée qu'au nord, bien que deux réductions successives mais de faible amplitude soient synchrones chez les épinettes noires des sites les plus nordiques (BJ5, BJ8, BJ10 et BJ9). Pour les sites BJ1, BJ2 et BJ3, cette réduction est aussi caractérisée par une absence de variations inter-annuelles de croissance.

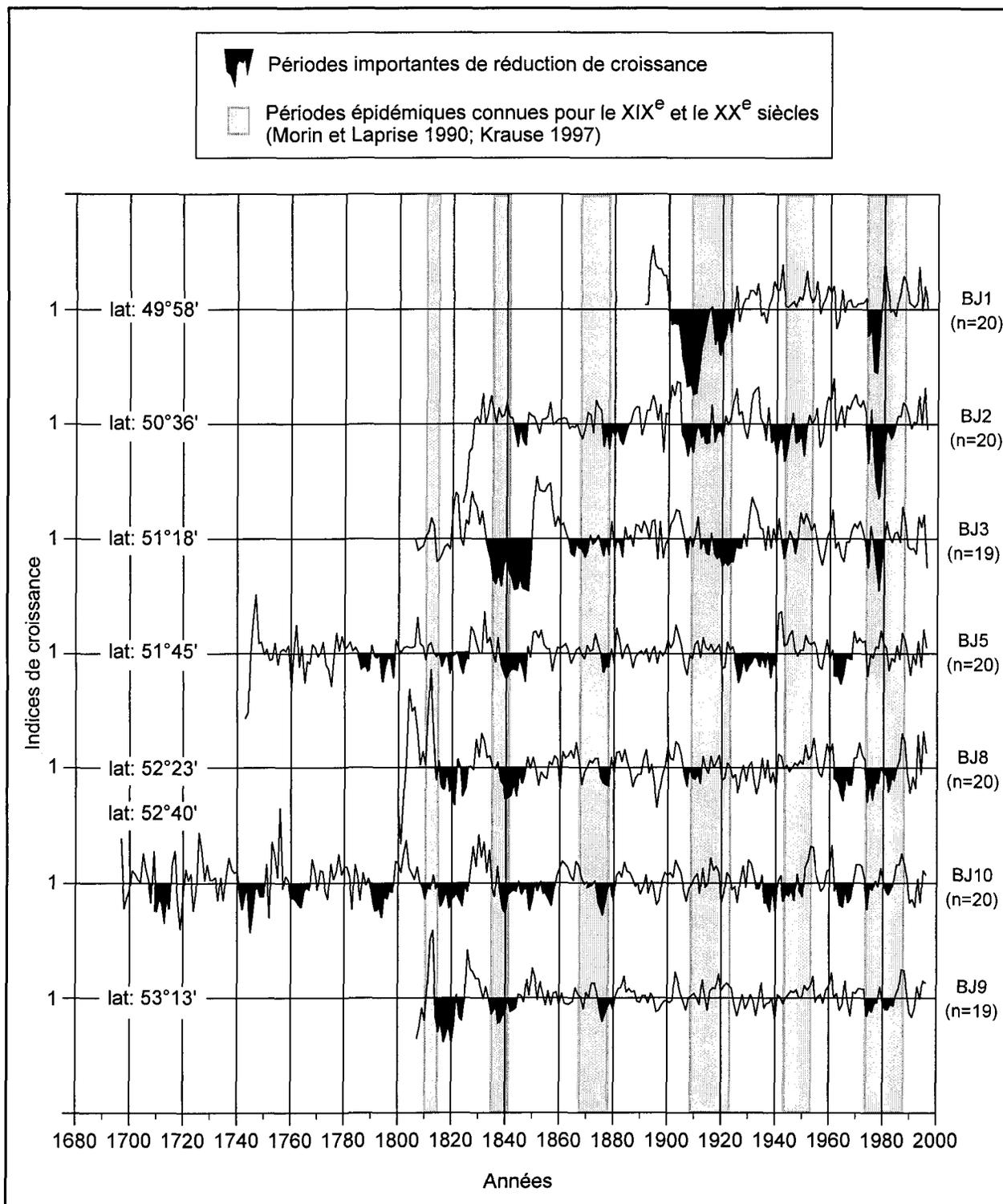


Figure 3. Chronologies indicées des épinettes noires

D'autres réductions de croissance synchrones d'un site à l'autre sont observables. En effet, une diminution de croissance est enregistrée autour de 1909 dans tous les sites échantillonnés. Cependant, cette période est très marquée dans le sud de la zone étudiée et présente une absence de variation inter-annuelle de croissance. Tandis que plus au nord, elle consiste en une chute continue de la croissance, sans variation inter-annuelle entre 1903 et 1907, bien que la croissance ne baisse que très peu sous l'indice de 1. Un synchronisme existe aussi pour les périodes de réduction observées autour des années 1843 et 1878 chez les arbres du site BJ2 et des autres sites plus au nord. Enfin, ce même phénomène est observé autour de 1820 chez les épinettes noires des sites BJ5, BJ8, BJ10 et BJ9.

4.2 Cernes discontinus ou absents

L'analyse détaillée des cernes de croissance des arbres échantillonnés a permis de constater que des cernes étaient soit discontinus ou complètement absents. La compilation de ces cernes pour l'ensemble des arbres analysés, montre une plus grande fréquence de ce phénomène en 1811, 1812, 1840, 1841, 1943, 1944, 1977, 1978, 1990 et 1996 (figure 4).

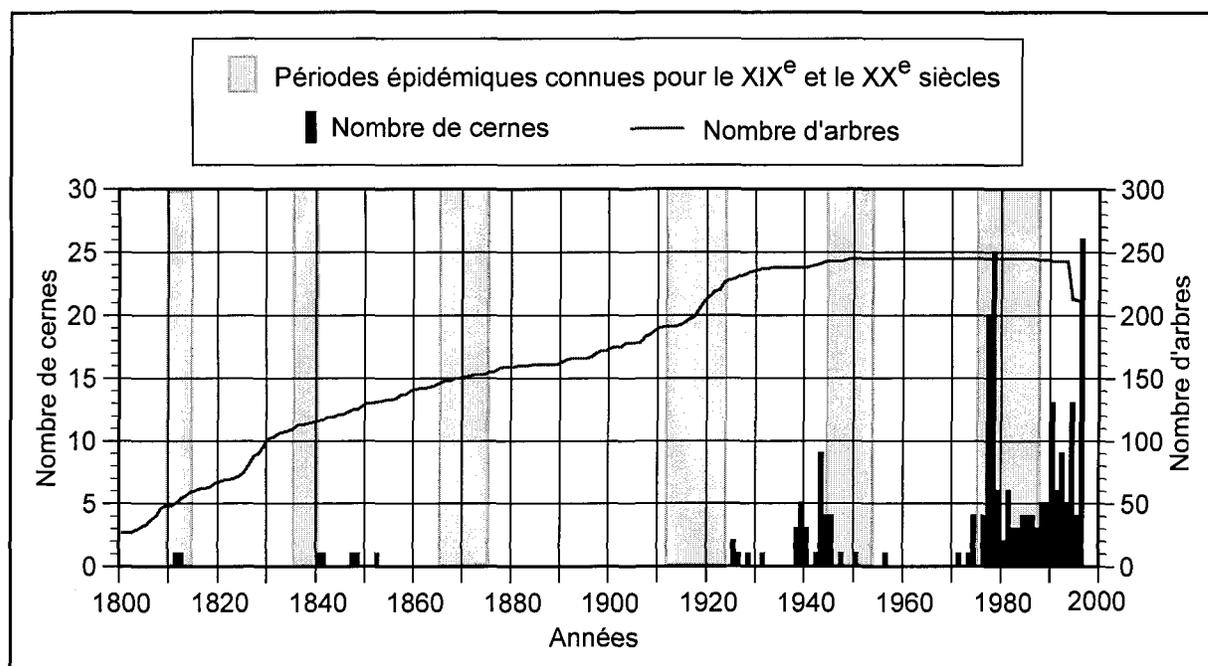


Figure 4. Nombre de cernes absents ou discontinus retrouvés sur l'ensemble des échantillons étudiés en fonction des années

4.3 Comparaison hôtes et non hôtes

La comparaison des patrons de croissance des arbres hôtes de la tordeuse (sapin baumier et épinette noire) avec celui des arbres non hôtes (pin gris) permet de cibler les réductions de croissance qui sont provoquées par cet insecte et non par le climat. En périodes épidémiques, les arbres non hôtes ne devraient pas présenter de réductions de croissance comparativement aux arbres hôtes, alors qu'en périodes endémiques leurs patrons de croissance devraient être similaires (Blais 1962, 1965; Swetnam *et al.* 1985; Swetnam et Lynch 1989). Dans cette section, la comparaison est présentée pour trois sites dans lesquels se retrouvent les deux espèces hôtes, soit un au sud, au milieu et un au nord du transect (figure 5). Les autres courbes de comparaison sont présentées aux annexes 1 et 2. Le site non hôte qui a été utilisé est le BJ4, situé à mi-chemin du transect (51°22'29,4"N et 75°25'43,3"O). Toutefois, puisque ces pins gris n'avaient qu'une centaine d'années, la comparaison ne peut être effectuée que pour le XX^e siècle.

Sur les courbes de croissance, il est possible de constater que les pins gris présentent des périodes où leur patron de croissance est similaire à celui des deux espèces hôtes (figure 5). De plus, la corrélation entre les courbes est généralement significative pour les périodes endémiques connues (tableau 2).

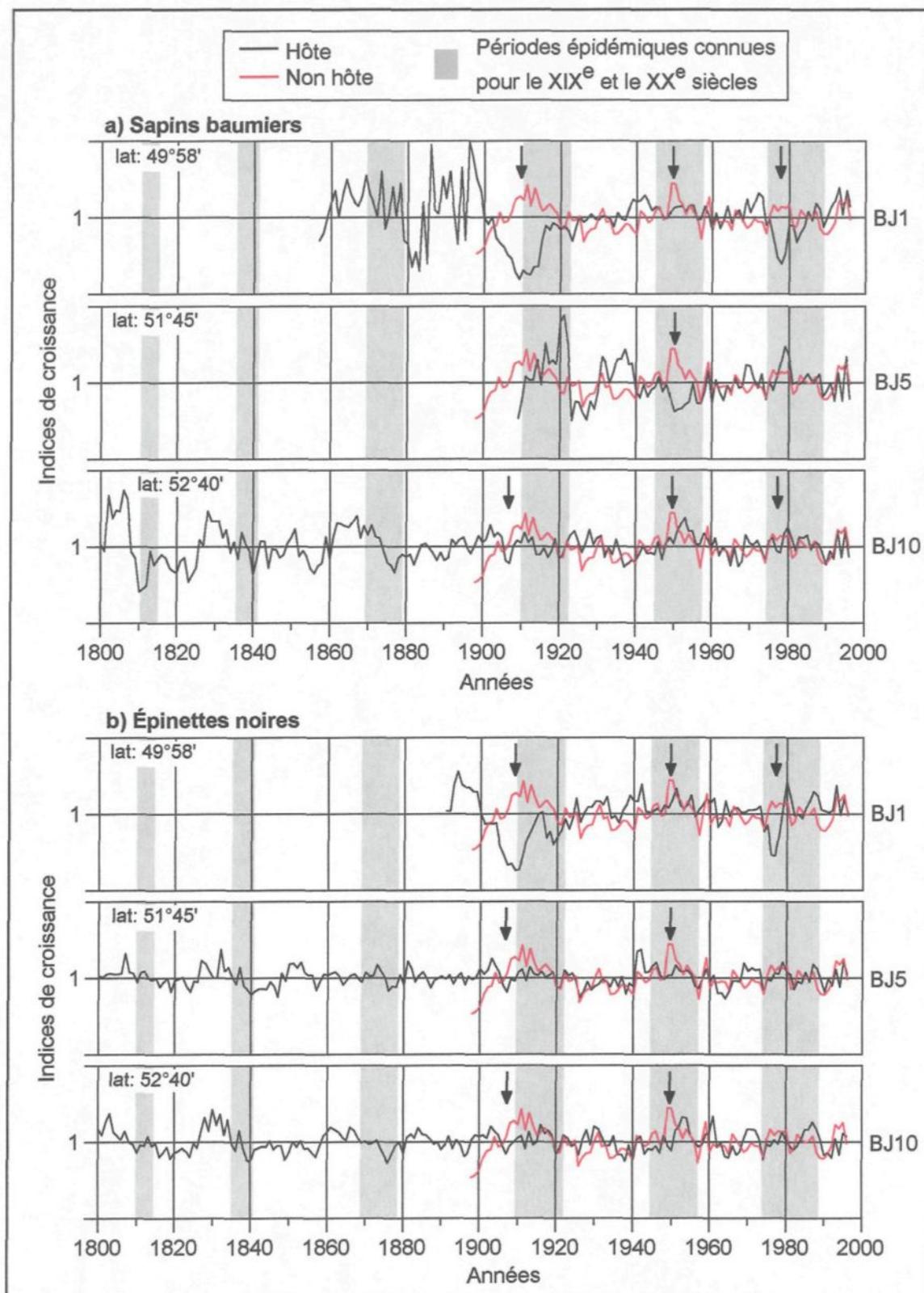


Figure 5. Comparaison de courbes hôtes de la tordeuse a) des sapins baumiers et b) des épinettes noires des sites BJ1, BJ5 et BJ10 avec celle des pins gris du site BJ4 (non hôtes)

Tableau 2. Corrélation entre la croissance des arbres hôtes de la tordeuse et celle des arbres non hôtes pour les périodes endémiques connues¹ (Morin et Laprise 1990; Krause 1996)

Sites	Corrélations avec non hôtes (pins gris)
BJ1 sab	0,282+
Bj1 epn	0,421*
BJ2 sab	0,367*
BJ2 epn	0,382*
BJ3 epn	0,347*
BJ5 sab	0,522*
BJ5 epn	0,124
BJ6 sab	0,272+
BJ7 sab	0,195
BJ8 epn	0,537*
BJ9 epn	0,380*
BJ10 sab	0,444*
BJ10 epn	0,462*
Duncan sab	0,518*
Moyenne	0,375

sab = sapin baumier

epn = épinette noire

* Corrélation significative à 99%

+ Corrélation significative à 95%

¹Périodes endémiques : de 1900 à 1908, 1924 à 1943, 1954 à 1973 et de 1989 à 1996.

Par contre, en observant les courbes de la figure 5, il est possible de constater qu'il existe certaines périodes où les arbres hôtes présentent des réductions de croissance qui ne sont pas enregistrées par les pins gris. Entre 1976 et 1983 ainsi qu'entre 1906 et 1913, les sapins et les épinettes noires du site BJ1 ont enregistré une forte chute de croissance alors que, durant la même période, les pins gris présentent une croissance supérieure à l'indice 1. Il en est de même pour la période de 1943 à 1952, chez les sapins du site Bj5, qui ont enregistré un ralentissement de croissance alors que les pins gris ont une croissance très supérieure à l'indice 1. Enfin, en ce qui concerne les arbres du

site BJ10 et les épinettes noires du site BJ5, les différences entre les courbes des arbres hôtes et celle des pins gris sont moins évidentes.

4.4 Analyse des cimes

L'analyse de la partie haute de certains arbres, par la récolte d'une rondelle au centre de la cime, avait pour but de d'obtenir une information plus détaillée sur les réductions de croissance pouvant être attribuables à la tordeuse. Dans cette section, trois exemples représentatifs sont présentés (figure 6).

Il est possible de remarquer que pour l'épinette noire du site BJ3 et celle du site BJ5, la réduction de croissance enregistrée autour de 1978 dans la partie haute de l'arbre, est aussi présente à sa base. Par contre, la période de réduction de croissance enregistrée autour de 1950, dans la cime de l'épinette noire du site BJ5, n'est pas visible à sa base. C'est aussi le cas de la période présente autour de 1974 dans la cime de l'épinette noire du site BJ9 alors qu'à sa base la croissance demeure stable. Enfin, cette comparaison montre également que certaines chutes importantes de la croissance se produisent légèrement plus tôt dans la cime. Ce fait est observable chez l'épinette noire du site BJ3 et celle du site BJ5 entre 1970 et 1980.

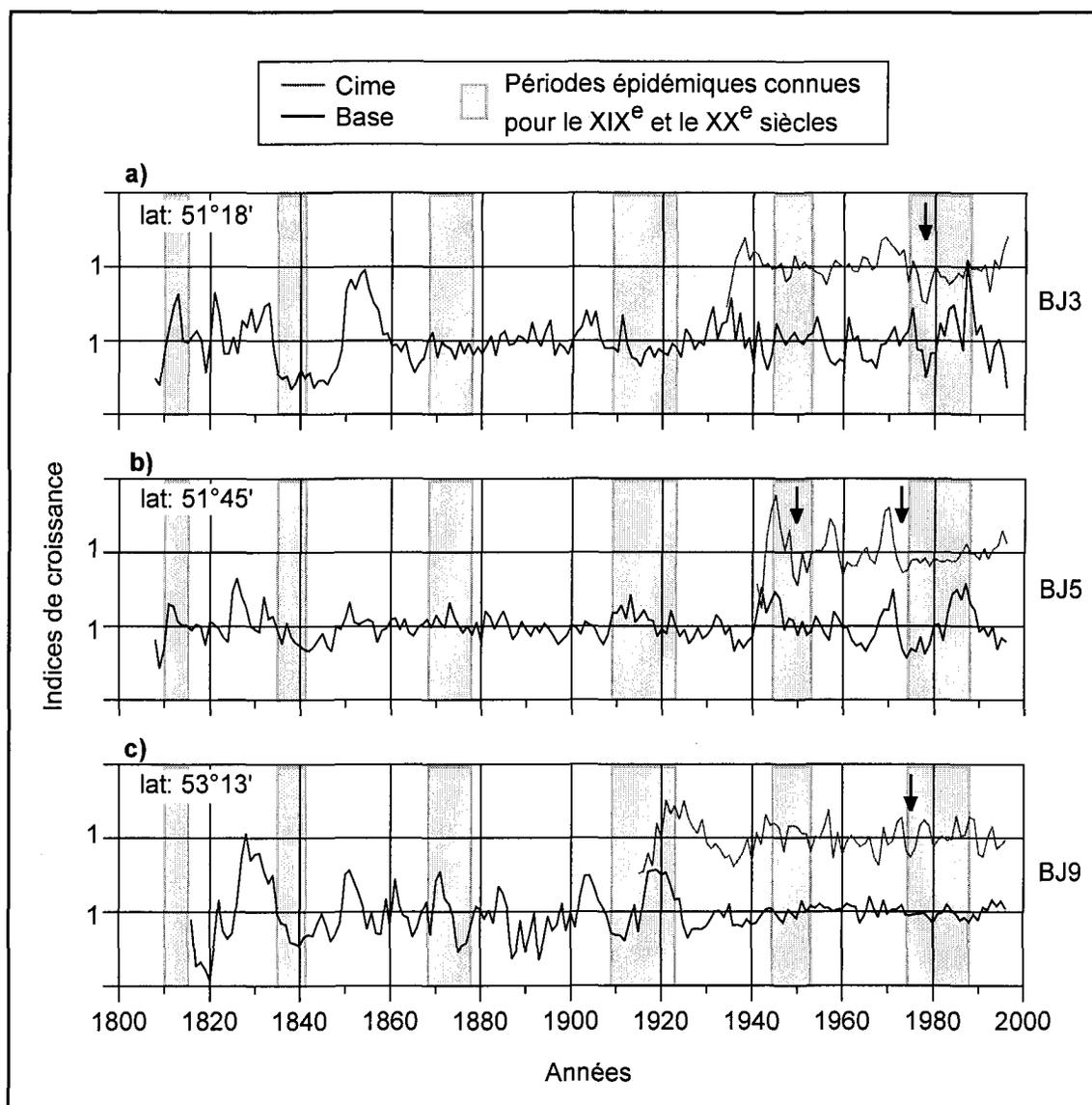


Figure 6. Comparaison entre la courbe de croissance indicée de la cime et celle de la base pour une même épinette noire a) du site BJ3, b) du site BJ5 et c) du site BJ9

4.5 Analyse de tige

L'analyse de tige permet de suivre la croissance des arbres à différentes hauteurs dans leur tige. Cette analyse a aussi pour but d'obtenir une information plus détaillée sur les réductions de croissance pouvant être attribuables à la tordeuse.

Comme les deux exemples le montrent, lorsqu'une réduction de croissance est présente à la base de l'arbre, celle-ci est également enregistrée sur toute la longueur de la tige (figure 7). Cette réduction est cependant légèrement plus hâtive dans la partie haute de l'arbre. Par contre, il est possible de constater que certaines réductions de croissance sont enregistrées dans la partie haute de l'arbre alors qu'elles ne sont pas visibles à sa base. C'est le cas des réductions de croissance présentes autour de 1950 et de 1977, chez le sapin baumier. Ces deux réductions ne sont visibles qu'à partir de huit mètres. Enfin, en considérant la période épidémique connue de 1944 à 1953, il est possible de constater que l'épinette noire n'a enregistré aucune réduction de croissance ni à sa base, ni dans sa partie haute.

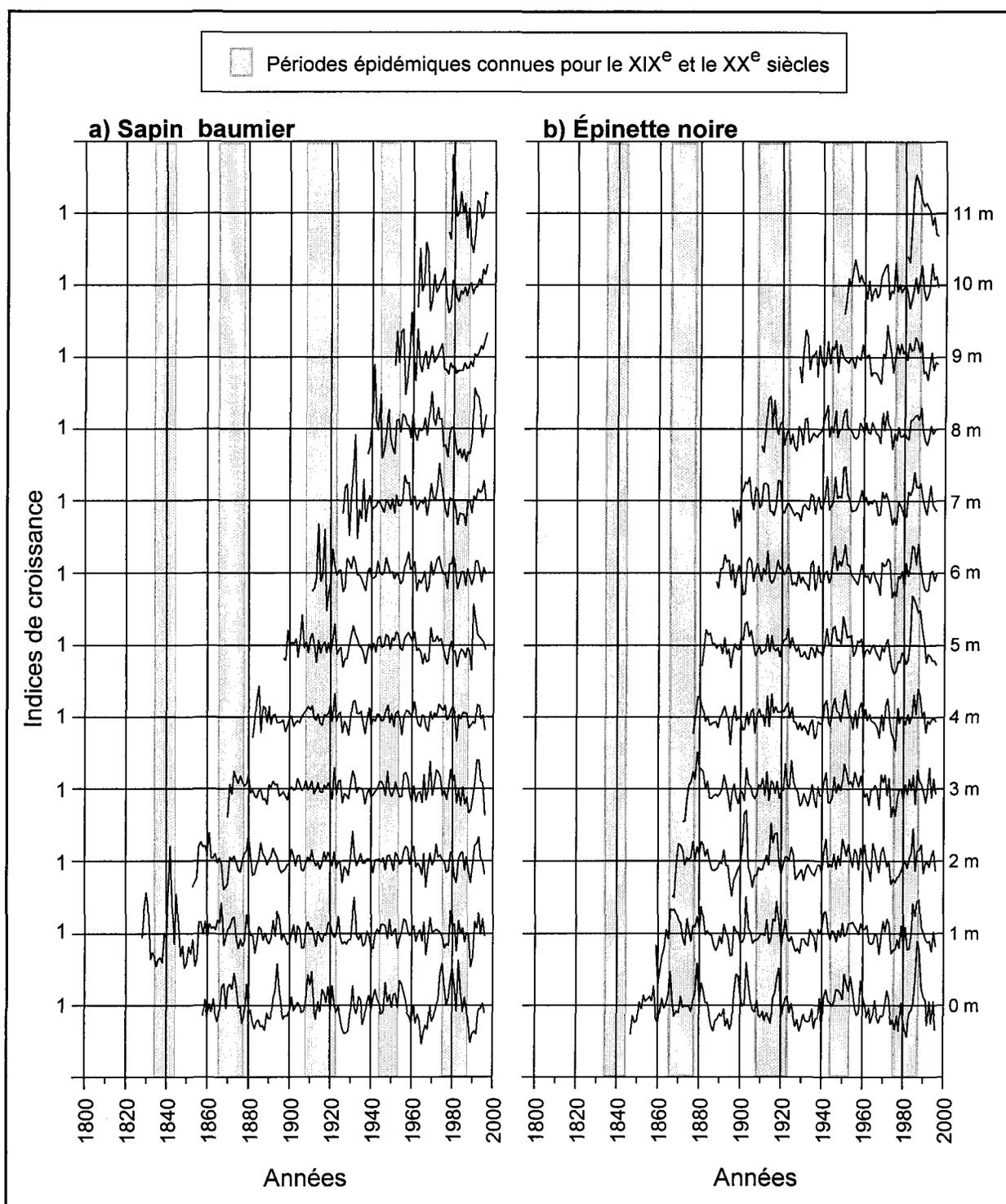


Figure 7. Comparaison des courbes de croissance indicées obtenues par l'analyse de tige à différentes hauteurs a) d'un sapin baumier du site BJ6 et b) d'une épinette noire du site BJ8

4.6 Calcul de l'impact des épidémies

Le calcul de l'impact réalisé à l'aide du programme informatique appelé Impact permet de quantifier l'ampleur des réductions de croissance subies par les arbres et de déterminer quelles sont les réductions de croissance significatives. Pour cette analyse, les chronologies ont été considérées pour les périodes du XIX^e et du XX^e siècle seulement, étant donné qu'il n'y a que les épidémies de ces périodes qui soient bien documentées jusqu'à maintenant et que seuls quelques arbres avaient plus de 200 ans. De plus, les périodes analysées ont été déterminées en fonction des périodes épidémiques connues (Morin et Laprise 1990; Krause 1997).

4.6.1 *Sapins baumiers*

Le calcul de l'impact a permis de mettre en évidence les périodes où la croissance des sapins baumiers était réduite de manière significative, soit de 30 % comparativement à la croissance moyenne des cinq années précédant la période épidémique (figure 8). Ainsi, pour les sapins du site BJ1, de telles périodes sont enregistrées autour de 1978 et 1910. La troisième période de réduction significative de la croissance présente chez les sapins de ce site est un artéfact provoqué par l'amplification des variations de la courbe due à la

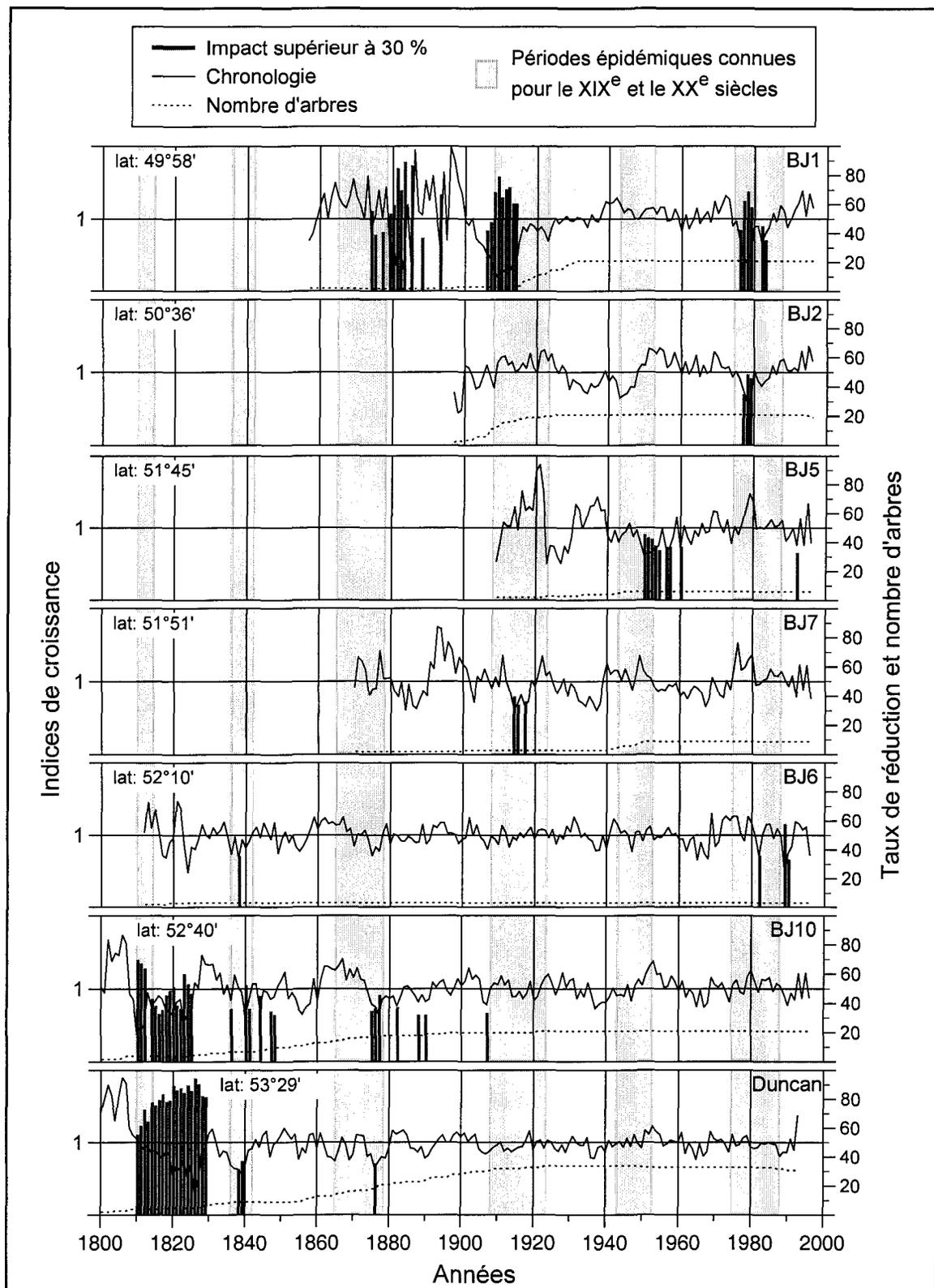


Figure 8. Réductions de croissance supérieures à 30 % comparativement à la moyenne des cinq années précédentes et courbes de croissance et du nombre d'individus en fonction des années pour les sapins baumiers

standardisation. Ce même phénomène se retrouve aussi au niveau des sites BJ10 et Duncan où les variations de croissance sont exagérées vers les années 1810, dû au faible nombre d'échantillons présents à cette période.

Les sapins baumiers du site BJ2 ont enregistré une seule réduction de croissance significative mais celle-ci est synchrone à la période présente autour de 1978 chez les sapins du site BJ1. Dans le site BJ5, les sapins montrent une période de plusieurs années consécutives de réduction autour de 1950 alors que pour le site BJ7 une telle période est enregistrée autour de 1915.

Pour les trois derniers sites les plus au nord, seuls les sapins du site BJ6 présentent des années de réduction de croissance significative pour le XX^e siècle. Tandis qu'au XIX^e siècle, les sapins de ces trois sites ont enregistré soit une ou trois périodes de réduction significative qui sont synchrones entre ces sites. Ces périodes se situent autour de 1877, 1839 et 1820. La dernière demeure toutefois difficile à interpréter dû au problème d'exagération des courbes induit par la standardisation.

4.6.2 *Épinettes noires*

Comme pour les sapins baumiers, le calcul d'impact réalisé pour les épinettes noires a permis d'observer des périodes de réduction significative de la croissance de ces arbres (figure 9). Il existe d'ailleurs un synchronisme entre les différents sites étudiés pour plusieurs de ces périodes. Ainsi, une période de réduction de croissance significative a été enregistrée chez les épinettes noires des sites BJ1, BJ2, BJ3, BJ8 et BJ10 entre 1974 et 1980. Il en est de même pour la période située entre 1905 et 1922 qui est présente chez les épinettes des sites BJ1, BJ2 et BJ3. Finalement, entre 1836 et 1850, il y a plusieurs années où la croissance des épinettes noires montre une diminution significative et ce, dans les sites BJ3, BJ5, BJ8, BJ10 et BJ9.

En général, pour les sites au sud du transect, le taux de réduction de croissance est plus élevé et de plus longue durée. Par contre, au nord, les arbres atteignent plus rarement un taux de réduction de 30 %.

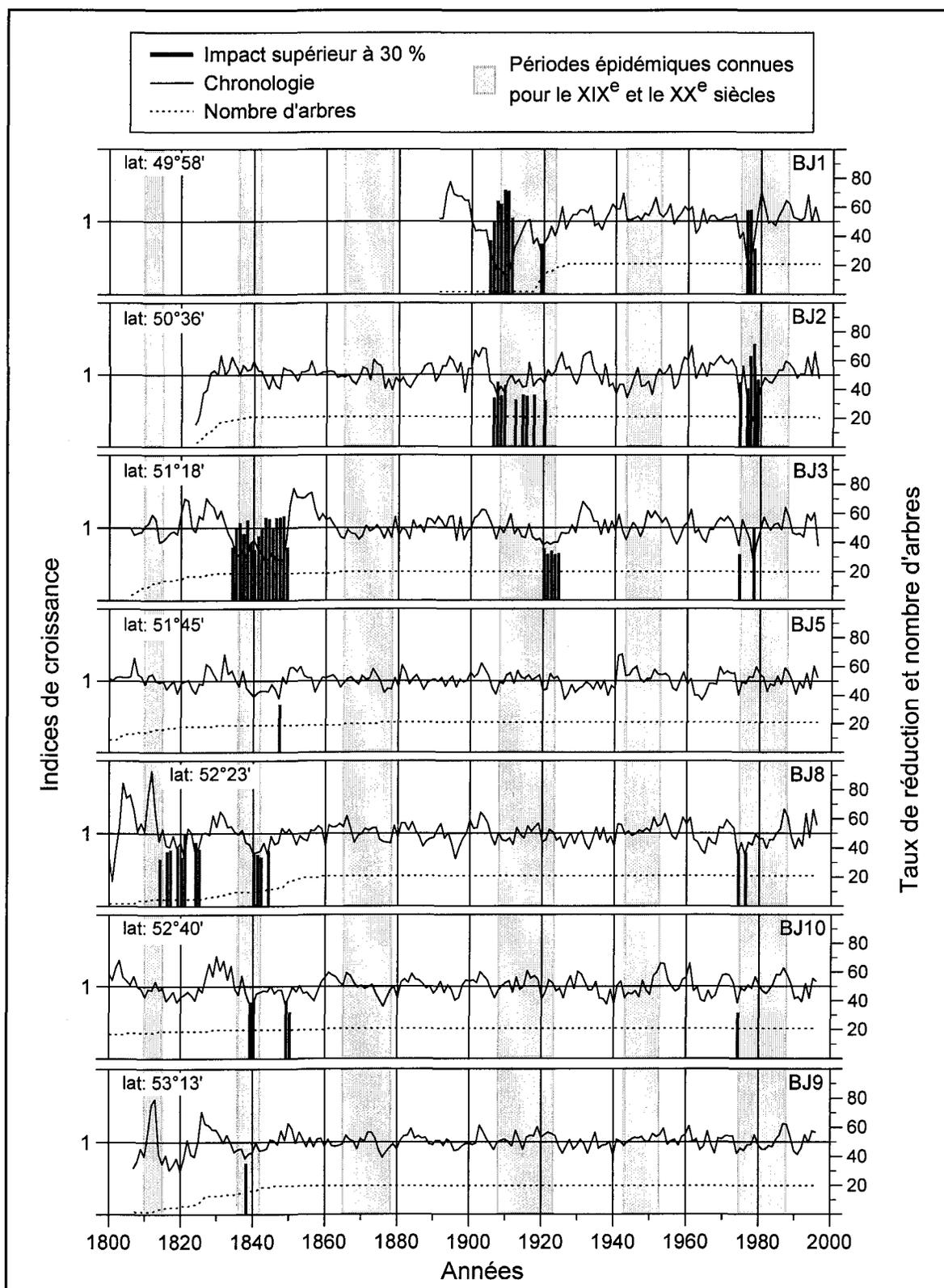


Figure 9. Réductions de croissance supérieures à 30 % comparativement à la moyenne des cinq années précédentes et courbes de croissance et du nombre d'individus en fonction des années pour les épinettes noires

4.7 Proportion d'arbres affectés par la tordeuse

La corrélation entre les arbres hôtes et les arbres non hôtes échantillonnés étant significative, il a été possible d'utiliser cette chronologie non hôte afin de procéder à une correction des courbes hôtes. Cette correction a été effectuée lors de l'utilisation du programme Outbreak (Holmes et Swetnam 1996). Cependant, la correction des chronologies n'a pu être effectuée que sur la portion de temps couverte par la chronologie non hôte, c'est-à-dire de 1898 à 1996. Par conséquent, pour les années antérieures à 1898 les données originales, sans correction, ont été utilisées pour les analyses effectuées à l'aide du programme Outbreak.

De plus, afin de ne pas considérer comme touchés par une épidémie seulement quelques arbres dont la croissance est plus faible, ce qui est fréquent pour les sites les plus au nord, il a été convenu pour les sites comprenant 19 ou 20 individus, de tenir compte des résultats seulement lorsque le pourcentage obtenu correspondait au moins à trois arbres affectés sur l'ensemble des arbres échantillonnés pour ce site. Ainsi, lorsque que le programme faisait ressortir des signes d'épidémie de tordeuse pour seulement un ou deux arbres dans un site, ces résultats n'étaient pas considérés. Par

contre, pour les autres sites, étant donné le nombre peu élevé d'échantillons, tous les pourcentages obtenus ont été considérés.

4.7.1 Sapins baumiers

Le calcul du pourcentage de sapins baumiers présentant une réduction de croissance significative a permis de constater qu'entre 1974 et 1988 une forte proportion des sapins des deux premiers sites (BJ1 et BJ2) avait enregistré une telle diminution de croissance (figure 10). Pour la même période, seulement 15 à 20 % des sapins baumiers des sites les plus au nord (BJ10 et Duncan) montrent une réduction de croissance significative. Pour le site BJ6, une réduction de croissance a été enregistrée entre 1989 et 1996 et ce, seulement sur un des deux sapins échantillonnés.

Or, tous les sites échantillonnés présentent une réduction de croissance significative chez au moins 40 % des sapins baumiers entre 1941 et 1965. Cette réduction de croissance débute en 1941 ou 1942 pour les sites BJ2, BJ5, BJ7 et BJ10 alors qu'elle est plus tardive chez les sapins des sites BJ1, BJ6 et Duncan.

Une autre période prolongée de réduction significative de la croissance est visible entre 1902 et 1932. Cette chute de croissance a affecté une grande

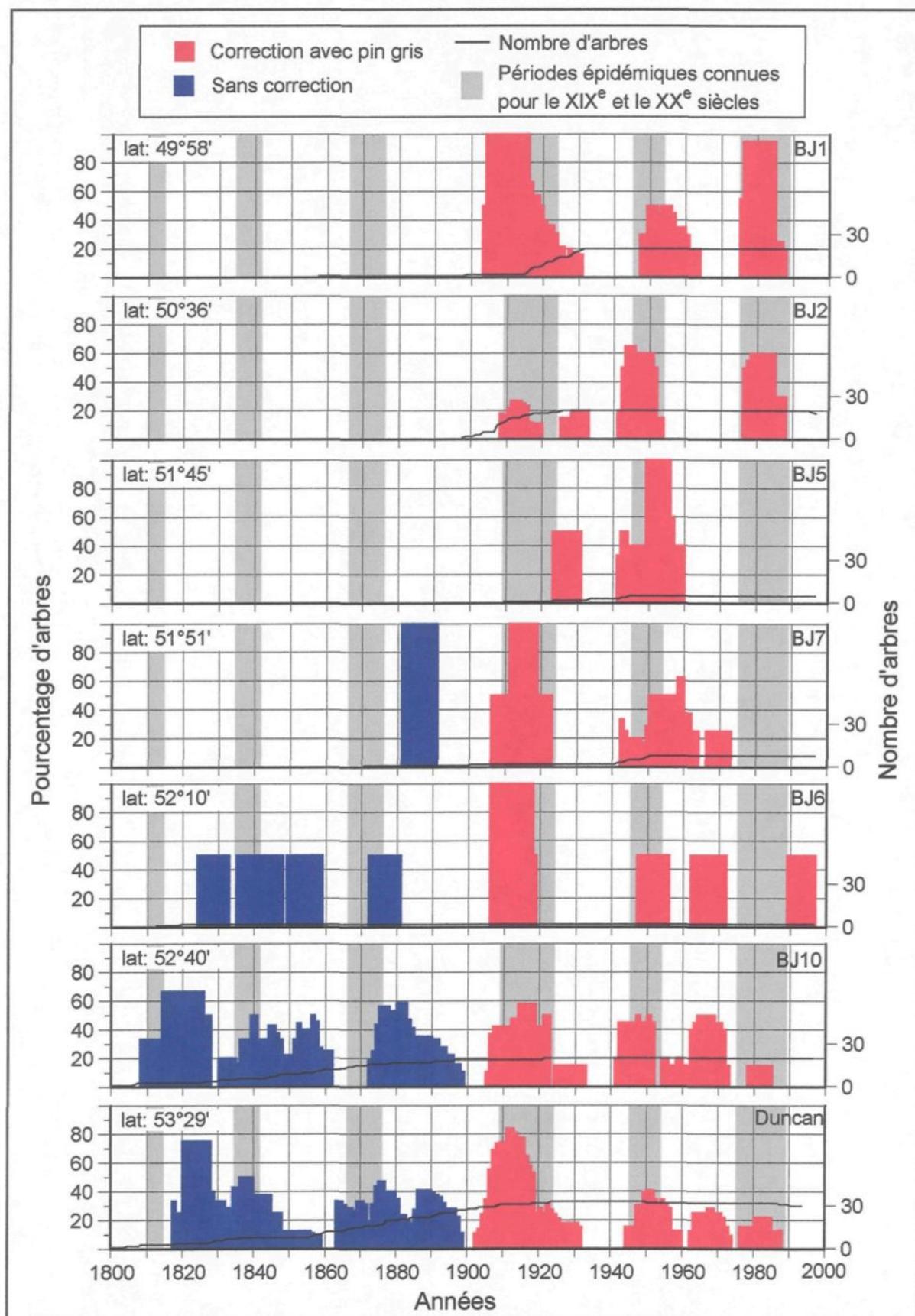


Figure 10. Pourcentage de sapins baumiers présentant une réduction de croissance significative typique d'une épidémie de tordeuse et courbe du nombre d'individus en fonction des années

proportion (de 55 à 100 %) des sapins baumiers des sites BJ1, BJ7, BJ6, BJ10 et Duncan. Toutefois, une faible proportion des sapins baumiers du site BJ2 montre cette réduction qui, dans ce cas-ci, est présente, en deux périodes séparées par quatre ans.

Enfin, pour le XIX^e siècle, seuls les sapins des sites BJ6, BJ10 et Duncan étaient assez âgés, les sites BJ1 et BJ7 ne présentant qu'un individu de plus de 100 ans. Cependant, pour ce siècle, les périodes de réduction significative sont plus longues. Ainsi, de 53 à 60 % des sapins baumiers présentent une réduction significative entre 1865 et 1882 mais la proportion d'arbres présentant cette réduction de croissance diminue graduellement jusqu'en 1898 dans les sites BJ10 et Duncan.

Pour la première moitié du XIX^e siècle, les sites BJ6, BJ10 et Duncan présentent une faible proportion d'arbres qui ont une croissance continuellement inférieure à la moyenne. Or, il est important de considérer que le nombre d'échantillons diminue pour le XIX^e siècle, ce qui réduit la fiabilité de cette portion des histogrammes.

4.7.2 *Épinettes noires*

Comme pour les sapins baumiers, les périodes de réduction de croissance significatives retracées par le programme Outbreak sont plus distinctes chez les épinettes noires du sud (figure 11). Ainsi, entre 1970 à 1988 environ la moitié (40 à 55 %) des épinettes noires de l'ensemble des sites présentent une période de réduction significative de croissance. Une autre période située autour de 1950 est enregistrée chez 80 % des arbres du site BJ2 alors que cette proportion diminue vers le nord, à l'exception du site BJ10 où plus de 70 % des épinettes noires ont enregistré cette réduction de croissance.

Une période de réduction de croissance significative est aussi enregistrée par une grande proportion des arbres entre 1902 et 1934. Les sites les plus au nord (BJ5, BJ8, BJ10 et Duncan) montrent même deux périodes de réduction successives dont la première, débutant vers 1905, est plus importante en terme de pourcentage.

En ce qui concerne le XIX^e siècle, il est possible de constater qu'un faible pourcentage d'épinettes noires des sites BJ5, BJ8, BJ10 et BJ9 présentent une période de réduction de croissance entre 1885 et 1898.

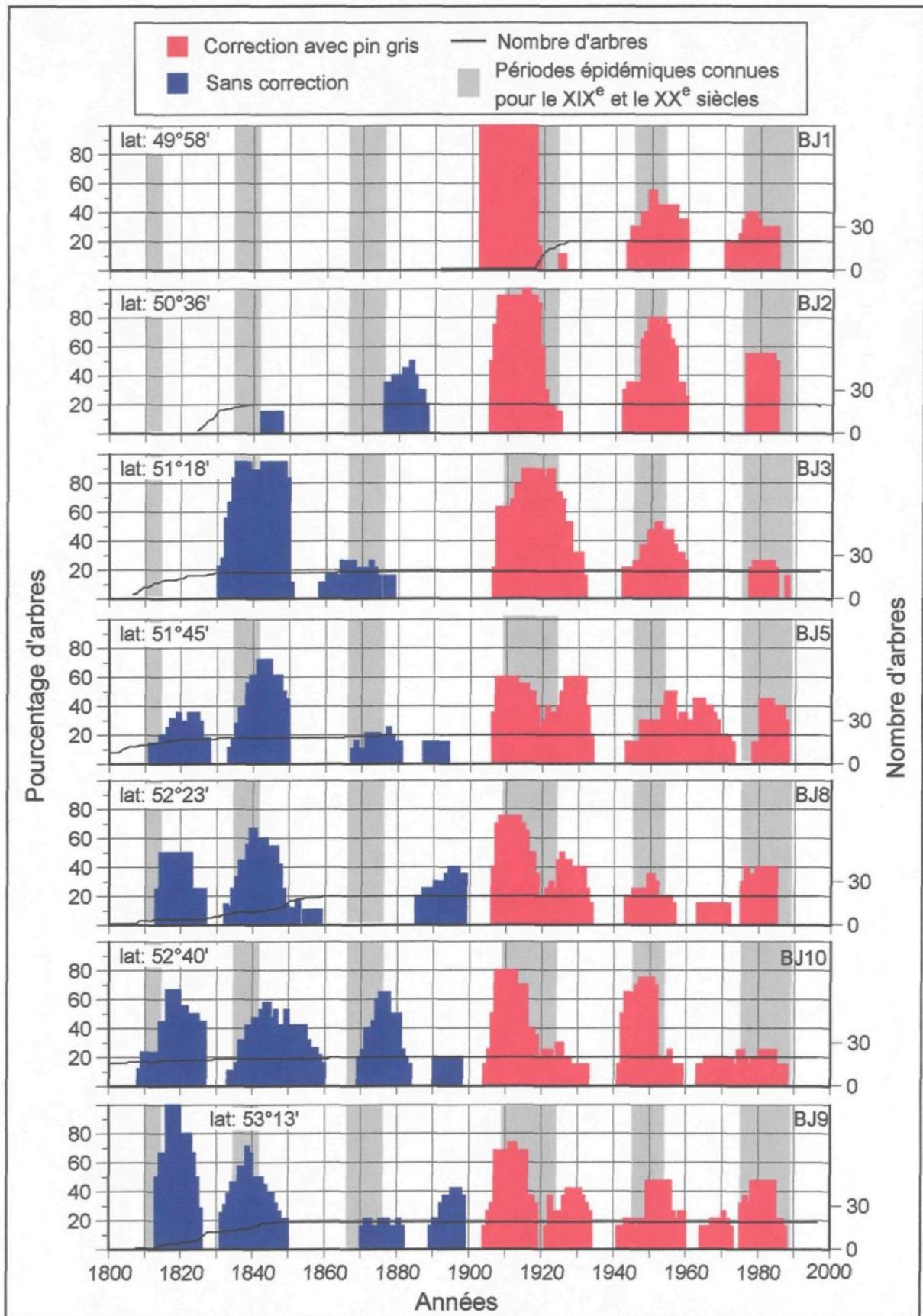


Figure 11. Pourcentage d'épinettes noires présentant une réduction de croissance significative typique d'une épidémie de tordeuse et courbe du nombre d'individus en fonction des années

Une autre réduction de croissance significative est enregistrée autour de 1875 dans plusieurs sites dont le site BJ10, où plus de 60 % des épinettes échantillonnées sont affectées. De plus, autour de 1840, des réductions de croissance significatives sont présentes chez une forte proportion d'épinettes noires, jusqu'au 53^e parallèle. Enfin, une importante proportion d'arbres des sites BJ5, BJ8, BJ10 et BJ9 présentent une réduction de croissance significative entre 1808 et 1827.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5. Discussion

5.1 Évidences de la présence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

5.1.1 Réductions de croissance

Les chronologies obtenues, lors de l'analyse de la croissance des arbres hôtes de la tordeuse, présentent des réductions de croissance attribuables aux épidémies de cet insecte. En effet, des périodes de réduction de croissance prononcées ayant un patron typique de celles causées par la tordeuse (Blais 1962) sont visibles sur les courbes de croissance (figures 2 et 3). Ces réductions sont en forme de vallée et présentent une diminution de la variation inter-annuelle de la croissance (Morin 1998). De plus, certaines de ces réductions sont synchrones avec les périodes épidémiques connues qui se sont produites entre 1974 et 1988, 1944 et 1953, 1909 et 1923, 1868 et 1878, 1835 et 1841 et enfin de 1810 à 1815 (Morin et Laprise 1990; Krause 1996).

5.1.2 Comparaison de la croissance des arbres hôtes et non hôtes

Il pourrait s'avérer que les réductions de croissance enregistrées par les arbres échantillonnés soient attribuables au climat. La comparaison des patrons de croissance des arbres hôtes de la tordeuse avec ceux des arbres

non hôtes constitue un bon moyen de vérifier si ces réductions sont dues au climat (Blais 1962; Swetnam *et al.* 1985; Swetnam et Lynch 1989). Normalement, des espèces différentes poussant dans la même région vont répondre de manière relativement similaire au climat. Des différences vont toutefois se produire dues à la phénologie même de chaque espèce ou encore à d'autres facteurs telles que les épidémies d'insectes défoliateurs. Toutefois, la distinction entre l'effet du climat et celui d'insectes défoliateurs peut s'avérer difficile dans le cas où l'épidémie survient en période climatique défavorable (Fritts 1971).

Les courbes obtenues et l'analyse de corrélation effectuée, permettent de constater qu'en périodes endémiques, les deux groupes, hôtes et non hôtes, ont des patrons de croissance généralement semblables (figure 5, tableau 2). Les corrélations obtenues étant significatives pour la presque totalité des sites, à l'exception des sites BJ5 (épinette noire) et BJ7 (sapin baumier), il est alors possible d'affirmer que le pin gris, le sapin baumier et l'épinette noire répondent de façon similaire aux différentes conditions climatiques. Ainsi, la comparaison des courbes de croissance pour les périodes épidémiques montre que le climat n'est pas en cause. En effet, les ralentissements de croissance présents pour le XX^e siècle chez les arbres hôtes, sont absents des courbes des arbres non

hôtes (figure 5), ce qui est caractéristique de l'effet d'épidémies d'insectes défoliateurs (Blais 1962; Swetnam *et al.* 1985).

5.1.3 Cernes discontinus ou absents

Les cernes discontinus ou absents constituent aussi des phénomènes typiques d'une défoliation par un insecte (O'Neill 1963; Fritts 1971). Ainsi, les résultats obtenus par la compilation de ce type de cernes montrent une plus grande abondance de ce phénomène lors des périodes épidémiques, soit autour de 1978, 1940, 1840 et 1811 (figure 4). Bien que le nombre de cernes discontinus ou absents soit plus élevé chez les arbres des sites se trouvant au sud du transect, la distribution de ceux-ci demeure similaire dans l'ensemble des sites étudiés.

La quantité plus importante de cernes absents ou discontinus pour les périodes épidémiques plus récentes peut, tout d'abord, s'expliquer par le fait que le nombre d'échantillons y est plus grand mais aussi que les arbres étudiés sont des survivants des différentes épidémies. Donc, pour avoir résisté à plusieurs attaques répétées de la tordeuse, ces arbres se devaient d'être plus vigoureux ou moins attaqués par celles-ci alors que les arbres les plus affectés sont morts et n'ont donc pas pu être échantillonnés (Swetnam et Lynch 1989).

Cette variation n'est donc pas nécessairement attribuable à une augmentation de l'intensité des dernières épidémies mais plutôt à une diminution, avec le temps, du nombre de survivants aux épidémies du siècle passé.

5.1.4 Patron des réductions de croissance le long de la tige

La répartition, à l'intérieur de la tige, des réductions de croissance provoquées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette suit normalement un patron typique. Celui-ci se caractérise par une réduction plus hâtive dans la partie haute de la cime qui est enregistrée d'une à deux années plus tard au niveau de la base de l'arbre (Swaine et Craighead 1924; Turner 1952; Krause et Morin 1995b). L'étude des cimes et des analyses de tige a permis de constater ce phénomène. En effet, lorsqu'une réduction de croissance était présente à la base de l'arbre, celle-ci était aussi retrouvée dans la cime mais, en général de façon plus marquée et légèrement plus hâtive (figures 6 et 7). De plus, pour certains sites, il a été constaté que même si l'arbre ne présentait pas de réduction de croissance à la base, une réduction était tout de même retrouvée plus haut dans la tige. Ceci est dû au fait que les chutes de croissance provoquées par une défoliation sont plus importantes dans la cime (Mott et al. 1957; Blais 1958; Krause et Morin 1995b). En effet, des études ont démontré qu'il peut arriver qu'aucune réduction ne soit enregistrée dans la base ou dans

les racines mais qu'une réduction significative soit par contre présente dans la cime (Mott *et al.* 1957; Blais 1958). Cependant, pour certaines périodes épidémiques, aucune réduction de croissance n'a été enregistrée par les arbres étudiés et ce, même dans la partie haute de la tige. Ceci permet de confirmer que pour certains sites au nord du transect, tous les arbres d'un même peuplement ne sont pas nécessairement affectés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

5.2 Types de peuplements affectés

Certains auteurs soutiennent que l'épinette noire en peuplement pur n'est pas une espèce d'incubation souhaitable pour la tordeuse parce qu'elle ne procure pas une nourriture suffisante et convenable en début de saison (Graham et Orr 1940; Greenbank 1963). L'épinette noire serait donc immunisée contre des dommages sérieux, sauf lorsqu'elle se retrouverait en peuplement mixte avec le sapin baumier (Graham et Orr 1940). Des études ont toutefois démontré qu'à proximité du 49^e parallèle, les peuplements dominés par l'épinette noire avec seulement une faible proportion de sapins baumiers sont aussi affectés par la tordeuse (Krause et Morin 1995a). Les résultats obtenus par cette étude appuient ce fait puisque plusieurs des peuplements échantillonnés ne présentaient que de l'épinette noire comme espèce hôte et

que des réductions de croissance importantes attribuables à la tordeuse ont tout de même été enregistrées chez ces arbres. Selon Turner (1952), il ne semble pas nécessaire qu'une région soit largement prédominée par le sapin baumier pour que la population de tordeuse atteigne un nombre suffisant de larves pour causer des dommages.

Cependant, les réductions de croissance étaient en général plus importantes chez les sapins baumiers que chez les épinettes noires. Le fait que l'épinette noire soit moins sévèrement défoliée par la tordeuse peut expliquer les réductions de croissance plus faibles qu'elle subit (Blais 1957, 1981).

5.3 Synchronisme des épidémies

Les résultats obtenus démontrent que la tordeuse des bourgeons de l'épinette atteint le 53^e parallèle. Le synchronisme entre les réductions enregistrées chez les arbres échantillonnés le long du transect et les données connues des épidémies étudiées plus au sud constitue une des évidences qui permettent d'appuyer cette affirmation. En effet, malgré la variation latitudinale, il existe un synchronisme entre les différentes périodes de réduction de croissance et ce, tant chez les épinettes noires que chez les sapins baumiers (figures 2, 3, 8, 9, 10 et 11). Quelques variations sont tout de même présentes

comme c'est le cas pour l'épidémie du début de ce siècle. Cette épidémie a débuté selon les données connues vers 1909 dans le nord du lac Saint-Jean (Morin et Laprise 1990). Toutefois, cette réduction débute vers 1905 à la base des sapins baumiers et des épinettes noires analysés. De plus, la fin de cette période est plus hâtive faisant en sorte que la durée de cette épidémie est relativement similaire aux données connues. Donc, en général, les résultats obtenus sont en accord avec l'hypothèse proposant que la tordeuse des bourgeons de l'épinette soit présente à l'état endémique sur de vastes territoires et que les épidémies débuteraient de façon relativement synchrone suite à une augmentation simultanée des populations (Royama 1984; Mattson *et al.* 1988; Morin 1998).

Comme il a été observé lors d'études antérieures (Morin 1995; Krause et Morin 1995a), il existe également un synchronisme entre les réductions de croissance enregistrées chez les sapins baumiers et les épinettes noires (figures 2, 3, 8, 9, 10 et 11). Ces deux espèces seraient donc défoliées simultanément. Contrairement à ce qui avait été supposé par Blais (1957), ce n'est pas uniquement suite à une surpopulation sur le sapin baumier et l'épinette blanche que la tordeuse s'attaquerait à l'épinette noire. Cette dernière pourrait ainsi jouer un rôle important dans le maintien des populations de tordeuse étant donné son plus faible taux de mortalité (Morin 1995). En effet,

bien qu'elle soit attaquée en même temps que le sapin, l'épinette noire est cependant moins vulnérable vu l'ouverture tardive de ses bourgeons par rapport au développement larvaire de la tordeuse (Swaine et Craighead 1924; Graham et Orr 1940; Blais 1957; Greenbank 1963).

5.4 Impact des épidémies

Les chronologies ainsi que le calcul effectué à l'aide du programme Impact montrent bien que la tordeuse des bourgeons de l'épinette a un impact plus important au sud du transect qu'au nord. Sur les chronologies, les périodes de réduction de croissance sont moins importantes au nord qu'au sud (figures 2 et 3). De même, avec le calcul fait par Impact, il est possible de constater que les arbres au nord du transect enregistrent moins fréquemment des réductions de croissance significatives (figures 8 et 9). Ces résultats sont en accord avec le fait que les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont moins sévères dans les régions plus nordiques (Blais 1968, 1983a; Blais et Archambault 1982; Hardy 1984; Morin et Laprise 1990). Toutefois, l'impact de la tordeuse demeure plus marqué chez les sapins que chez les épinettes noires. Les chutes de croissance sont plus importantes chez les sapins baumiers et le nombre d'années présentant une réduction de croissance significative est légèrement plus élevé que chez les épinettes noires.

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que le sapin baumier est l'hôte privilégié de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et qu'il est plus vulnérable que l'épinette noire (Blais 1957, 1962, 1981; Blais et Archambault 1982).

5.5 Durée des épidémies

Des études ont démontré que les épidémies, en plus d'être moins sévères, étaient de plus courte durée dans les régions situées à proximité du 50^e parallèle (Morin et Laprise 1990). Les périodes de réduction de croissance enregistrées par les arbres étudiés sont effectivement moins longues au nord du transect (figures 2 et 3). Cette plus courte durée des épidémies est également visible au niveau des résultats du calcul de l'impact (figures 8 et 9), où le nombre d'années présentant un taux de réduction supérieur à 30 % diminue dans les sites les plus au nord.

5.6 Proportion d'arbres affectés

Les résultats obtenus à l'aide du programme Outbreak montrent que la proportion d'arbres affectés par la tordeuse diminue légèrement vers le nord (figures 10 et 11). Au nord du transect, ce ne sont pas tous les arbres d'un peuplement qui sont affectés de la même façon. Bien que la tordeuse soit

présente en proportion suffisante pour provoquer un ralentissement de la croissance des arbres hôtes jusqu'au 53^e parallèle, à la lumière de ces résultats, il est supposé que le nombre d'insectes est tout de même plus faible qu'au sud.

Les résultats du calcul du pourcentage d'arbres affectés par la tordeuse ont aussi permis de constater un fait intéressant. Il est effectivement possible de remarquer une différence dans l'initiation et la fin des épidémies en fonction de la latitude. Au sud, au début d'une épidémie sévère, comme celle autour de 1978 et celle autour de 1909, le pourcentage d'arbres présentant une réduction de croissance significative augmente brusquement et chute tout aussi rapidement à la fin de l'épidémie. Par contre, cette tendance change avec la latitude. Au nord, le début de ces épidémies semble plus graduel. La proportion d'arbres présentant une réduction de croissance significative augmente lentement pour atteindre un maximum puis, ensuite redescendre graduellement. En ce qui concerne l'épidémie du milieu du XX^e siècle, celle-ci est déjà plus graduelle que les deux autres dans la portion sud du transect. Cependant, dans la partie nord de l'aire d'échantillonnage, cette tendance est encore plus marquée et l'épidémie devient plus difficile à distinguer.

De plus, entre les périodes épidémiques, il y a constamment quelques individus qui conservent une croissance inférieure à la moyenne faisant en sorte que la distinction entre les périodes épidémiques est plus difficile. Ce phénomène étant plus marqué chez les sapins baumiers que chez les épinettes noires, ceci suggère que les conditions climatiques extrêmes pourraient être la cause, puisque dans cette région, le sapin baumier se trouve à sa limite nord de distribution (Payette 1993).

Enfin, il a été possible de constater que le programme Outbreak fait ressortir plus de périodes épidémiques que le programme Impact. Par exemple, avec Impact, aucune réduction significative de croissance n'est visible pour l'épidémie du milieu du XX^e siècle (figures 8 et 9) alors que cette période devient évidente pour tous les sites, avec le programme Outbreak (figures 10 et 11). Ceci peut s'expliquer par le fait que le programme Impact ne considère que la moyenne de la croissance de tous les arbres d'un même site, ce qui entraîne une certaine perte d'information en ce qui concerne la croissance individuelle de chacun des arbres. Cette perte d'information est importante à considérer puisque la proportion d'arbres affectés par la tordeuse diminue vers le nord de l'aire étudiée. De plus, la comparaison entre les arbres hôtes et les arbres non hôtes a permis de constater que les pins gris présentaient une croissance supérieure à celle des deux autres espèces au milieu XX^e siècle (figure 5). Ceci

démontre que les conditions climatiques ne sont pas en cause dans la réduction de croissance des sapins baumiers et des épinettes noires puisque les pins gris auraient aussi enregistré une croissance ralentie. De ce fait, il est possible de supposer que c'est un phénomène autre que le climat qui a influencé la croissance des sapins baumiers et des épinettes noires, telle qu'une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il semble donc que le programme Outbreak permette de faire ressortir des réductions de croissance qui auraient été difficiles à interpréter sans la correction des chronologies hôtes par celle des non hôtes

Ainsi, il semble important de considérer les résultats obtenus par les deux programmes (Impact et Outbreak) ainsi que ceux des chronologies afin d'effectuer des interprétations judicieuses et ainsi doser les résultats obtenus par chacune des méthodes d'analyse.

5.7 Influence du climat

L'ensemble des analyses réalisées sur les arbres échantillonnés permet donc de confirmer que la tordeuse des bourgeons de l'épinette a un impact significatif sur la croissance des arbres jusqu'au 53^e parallèle malgré les conditions difficiles. En général, les études ont démontré que des conditions

climatiques sèches et chaudes favorisaient la survie de la tordeuse alors qu'un climat frais et humide lui était défavorable (Blais 1984, 1985; Blais et Archambault 1982; Hardy *et al.* 1983). Ainsi, les épidémies de tordeuse se produiraient uniquement où les conditions de températures annuelles moyennes sont de 2,5°C et plus et où les précipitations annuelles sont inférieures à 900 millimètres (Blais et Archambault 1982). Par contre, des épidémies se sont produites dans des régions comme la réserve faunique des Laurentides et la péninsule de Gaspé, là où le climat est généralement humide et frais avec des précipitations moyennes de 1520 millimètres et une période sans gel d'environ 2 mois (Blais 1985). Des recherches ont aussi démontré la présence d'épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans la région située au nord du Lac Saint-Jean, là où la température moyenne est de 1,7°C et où les précipitations atteignent 811 millimètres en moyenne par année (Krause et Morin 1995b). Il en est de même pour l'étude menée par Filion *et al.* (1998) sur le Mont Mégantic, où il est mentionné que des épidémies de la tordeuse se sont produites dans le passé bien que la température moyenne ne soit que de 0,3°C et que les précipitations annuelles dépassent 1550 millimètres. Or, pour la présente étude, la région située dans la partie nord du transect présente des conditions plus rigoureuses, soit une température annuelle moyenne de -3,3°C et des précipitations moyennes annuelles de 610 millimètres (Rowe 1972). Cependant, il a été constaté lors d'études antérieures

que la dernière épidémie de ce siècle avait atteint des régions aussi éloignées que le nord-est de l'Ontario, c'est-à-dire à proximité de la Baie de James (Candau *et al.* 1998). Donc, il semble bien que la tordeuse des bourgeons de l'épinette soit habilitée à survivre dans des conditions climatiques extrêmes. En effet, selon des tests effectués en laboratoire, il a été prouvé que la tordeuse, bien qu'elle soit intolérante à la congélation, puisse survivre à des températures s'y rapprochant pourvu que le point de congélation ne soit pas atteint. Pour cet insecte, ce point de congélation se situe entre $-31,7^{\circ}\text{C}$ et $-34,5^{\circ}\text{C}$ après le début de la diapause (Han et Bauce 1993).

CHAPITRE 6

CONCLUSION

6. Conclusion

En conclusion, les résultats obtenus démontrent que la tordeuse des bourgeons de l'épinette a un impact significatif sur la croissance des sapins baumiers et des épinettes noires jusqu'au 53^e parallèle. Ainsi, malgré les conditions climatiques difficiles, il apparaît que la tordeuse se développe à des latitudes supérieures au 50^e parallèle et qu'elle peut même atteindre des proportions suffisantes pour provoquer des réductions de croissance chez les espèces hôtes.

En effet, les périodes de réductions de croissance et les hautes fréquences de cernes discontinus ou absents enregistrées chez les arbres échantillonnés sont synchrones avec les périodes épidémiques connues plus au sud. De plus, ces chutes de croissance présentent le patron typique de réductions provoquées suite à une défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et elles ne sont pas enregistrées chez les arbres non hôtes comme le pin gris.

Les résultats obtenus montrent également que les réductions de croissance subies en périodes épidémiques se produisent simultanément chez le sapin baumier et chez l'épinette noire. De plus, il a été démontré que même les peuplements purs d'épinettes noires présentent des réductions de

croissance significatives attribuables à la tordeuse et que la présence de sapins baumiers ne semble pas absolument nécessaire au développement de l'insecte.

Toutefois, l'amplitude de ces réductions de croissance diminue avec la latitude et la proportion d'arbres affectés dans un même peuplement est légèrement moins élevée vers le nord.

Les peuplements étudiés sont tout de même susceptibles aux attaques de la tordeuse bien que leur vulnérabilité soit moins élevée. L'aire de distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette établie serait donc sous-estimée. Ces données étant, la plupart du temps, basées sur des relevés aériens de défoliation, elles deviennent imprécises dans le cas d'une défoliation légère qui ne cause normalement pas de mortalité mais qui est suffisante pour entraîner une réduction de croissance si elle se maintient (MacLean et MacKinnon 1996). De plus, l'intensité de ces relevés d'une région à l'autre dépend bien souvent de la superficie terrestre à prospecter et du besoin en informations détaillées nécessaires à la répartition des programmes de protection (Kettela 1983), qui sont d'ailleurs nuls dans la région visée par cette étude (Ministère des Ressources naturelles 1999).

Enfin, la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourrait même se retrouver au-delà du 53^e parallèle puisque cette étude n'a pas permis d'atteindre la limite où elle n'a plus d'impact sur la croissance des arbres hôtes.

Par conséquent, une étude plus approfondie, par des analyses dendroécologiques et des relevés à partir de trappes à phéromones, serait pertinente afin de déterminer de façon plus exacte les limites de distribution d'insectes telle que la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

RÉFÉRENCES

Références

- Archambault, L. et J. Beaulieu. 1985. Réduction de croissance en volume occasionnée au sapin baumier, suite à la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. For. Chron. 61: 10-13.
- 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. 34: 39-47.
- Blais, J. R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the lower St. Lawrence and Gaspé regions. 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: 130-138.
- Blais, J. R. 1968. Regional variation in susceptibility of eastern North American forest to budworm attack based on history of outbreaks. For. Chron. 44: 17-23

- Blais, J. R. 1981. Recurrence of spruce budworm outbreaks for two hundred years in western Quebec. *For. Chron.* 58: 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 the frequency, extent, 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.* vol. 29 no.1 p. 27-34
- Blais, J. R. 1985. The ecology of the eastern spruce budworm: A review and discussion. Dans: Recent advances in spruce budworm research. Proceedings, CANUSA Spruce budworms research symposium, 16-20 sept. 1984, Bangor, Maine. C. J. Sanders, R. W. Stark, E. J. Mullins et J. Murphy eds. *Can. For. Serv.* p. 49-59.
- Blais, J. R. et L. Archambault. 1982. Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec. Canadian Forestry Service, Laurentian Forest Research Center. Ste-Foy. 21 p.
- Brown, C. E. 1970. A cartographic representation of spruce budworm *Choristoneura fumiferana* (Clem.), infestation in eastern Canada 1909-1966. Department of fisheries and forestry, Ottawa. Canadian forestry service publication. no. 1263. 4 p.

- Candau, J.- N., R. A. Fleming et A. Hopkin. 1998. Spatiotemporal patterns of large scale defoliation caused by the spruce budworm in Ontario since 1941. *Can. J. For. Res.* 28: 1733-1741
- Caron, D. 1990. Analyse dendrochronologique des épidémies du diprion de Swaine (*Neodiprion swainei* Midd.) secteur de la rivière à Mars. Rapport d'initiation à la recherche. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 25 p.
- Cogbill, C. V. 1985. Dynamics of the boreal forests of the Laurentian Highlands, Canada. *Can. J. For. Res.* 15: 252-261.
- Cook, E. R. et R. L. Holmes. 1986. User manual for program Arstan. Dans: *Tree-ring chronologies of western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin*. Edited by R.L. Holmes, R.K., Adams and H.C. Fritts. University of Arizona, Tucson. *Chronology Series VI*. p. 50-65.
- Desrochers, A. 1996. Détermination de l'âge de l'épinette noire (*Picea mariana*) en sous-étage de peupliers faux tremble (*Populus tremuloides*) dans la forêt boréale, Québec. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 81 p.
- Filion, L., S. Payette, A. Delwaide et N. Bhiry. 1998. Insect defoliators as major disturbance factors in the high-altitude balsam fir forest of Mount Mégantic, southern Quebec. *Can. J. For. Res.* 28:1832-1842.

- Fritts, H. C. 1971. Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*. 1(4): 419-449.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Presse, New York 567 p.
- Fritts, H. C. et T. W. Swetnam. 1989. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Adv. Ecol. Res.* 19: 111-188.
- Gionest, F. 1999. Relations temporelles entre des données de défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) et la croissance du sapin baumier (*Abies balsamea*). Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 115 p.
- Graham, S. A. et L. W., Orr. 1940. The spruce budworm in Minnesota. *Minnesota technical bulletin* 142. University of Minnesota, Agricultural Experiment Station. 27 p.
- Greenbank, D. O. 1963. Host species and the spruce budworm. Dans: The dynamics of epidemic spruce budworm populations. R.F. Morris eds. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 31: 219-223.
- Guay, R., R. Gagnon et H. Morin. 1992. A new automatic and interactive tree ring measurement system based on line scan camera. *For. Chron.* 68: 138-141.

- Han, E.- R. et E. Bauce. 1993. Physiological changes and cold hardiness of spruce budworm larvae, *Choristoneura fumiferana* (Clem.), during pre-diapause and diapause development under laboratory conditions. *The Can. Entomol.* 125: 1043-1053.
- Hardy, Y. 1984. La tordeuse des bourgeons de l'épinette...un mythe ou une réalité? *Revue d'entomologie du Québec.* vol. 29 no.1. p. 35-39.
- Hardy, Y., A. Lafond et A. Hamel. 1983. Epidemiology of the current spruce budworm outbreak in Quebec. *For. Sci.* 29: 715-725.
- Harvey, G. T. 1985. The taxonomy of the Coniferophagous *Choristoneura* (Lepidoptera:Tortricidae): A review. Dans: Recent advances in spruce budworm research. Proceedings, CANUSA Spruce budworms research symposium, 16-20 sept. 1984, Bangor, Maine. C. J. Sanders, R. W. Stark, E. J. Mullins et J. Murphy eds. *Can. For. Serv.* p. 16-48.
- Holmes, R. L. 1983. Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin.* 43: 69-78.
- Holmes, R. L. et T. W. Swetnam. 1996. Dendroecology program library: program Outbreak user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson. 8 p.
- Jardon, Y., Fillion, L. et C. Cloutier. 1994. Long-term impact of insect defoliation on growth and mortality of eastern larch in boreal Québec. *Écoscience.* 1 :231-238.

- Kettela, E. G. 1983. A cartographic history of spruce budworm defoliation 1967 to 1981 in eastern North America. Can. For. Serv. Publ. 8 p.
- Krause, C. 1996. L'analyse dendroécologique du clocher de la Cathédrale de Chicoutimi. Saguenayensia p. 21-25.
- 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 H. Morin. 1995a. Impact of spruce budworm defoliation on the number of latewood tracheids in balsam fir and black spruce. Can. J. For. Res. 25: 2029-2034.
- Krause, C. et H. Morin. 1995b. 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.
- MacLean, D. A. 1980. Vulnerability of fir-spruce stands during uncontrolled spruce budworm outbreaks: a review and dicussion. For. Chron. 56: 213-221
- MacLean, D. A. 1981. Impact of defoliation by spruce budworm populations on radial and volume growth of balsam fir: a review of present knowledge. Mitt. Forstl.Dundes.Wien. 142: 293-306
- MacLean, D. A. 1984. Effects of spruce budworm outbreaks on the productivity and stability of balsam fir forests. For. Chron. 60: 273-279.

- MacLean, D. A. 1985. Effects of spruce budworm outbreaks on forest growth and yield. Dans: Recent advances in spruce budworm research. Proceedings, CANUSA Spruce budworms research symposium, 16-20 sept. 1984, Bangor, Maine. C. J. Sanders, R. W. Stark, E. J. Mullins et J. Murphy eds. Can. For. Serv. p. 148-175.
- MacLean, D. A. 1988. Effects of spruce budworm outbreaks on vegetation, structure, and succession of balsam fir forests on Cape Breton Island, Canada. Dans : Plant form and vegetation structure. M.J.A. Werger, P.J.M. van der Aart, H.J. During et J.T.A. Verhoeven eds. SPB Academic Publishing, the Hague, the Netherlands. 253-261
- MacLean, D. A. et W. E. MacKinnon. 1996. Accuracy of aerial sketch-mapping estimates of spruce budworm defoliation in New Brunswick. Can. J. For. Res. 26: 2099-2108.
- MacLean, D. A. et W. E. MacKinnon. 1997. Effects of stand and site characteristics on susceptibility and vulnerability of balsam fir and spruce to spruce budworm in New Brunswick. Can. J. For. Res. 27: 1859-1871.
- Mattson, W. J., G. A. Simmons et J. A. Witter. 1988. The spruce budworm in eastern North America. Chap. 16. Plenum Press, New York. A. A. Berryman eds. p. 309-330.
- Ministère des Ressources naturelles 1999. Les insectes forestiers nuisibles. La tordeuse des bourgeons de l'épinette, approche de gestion intégrée des épidémies. Gouvernement du Québec, RN99-3072. 8 p.

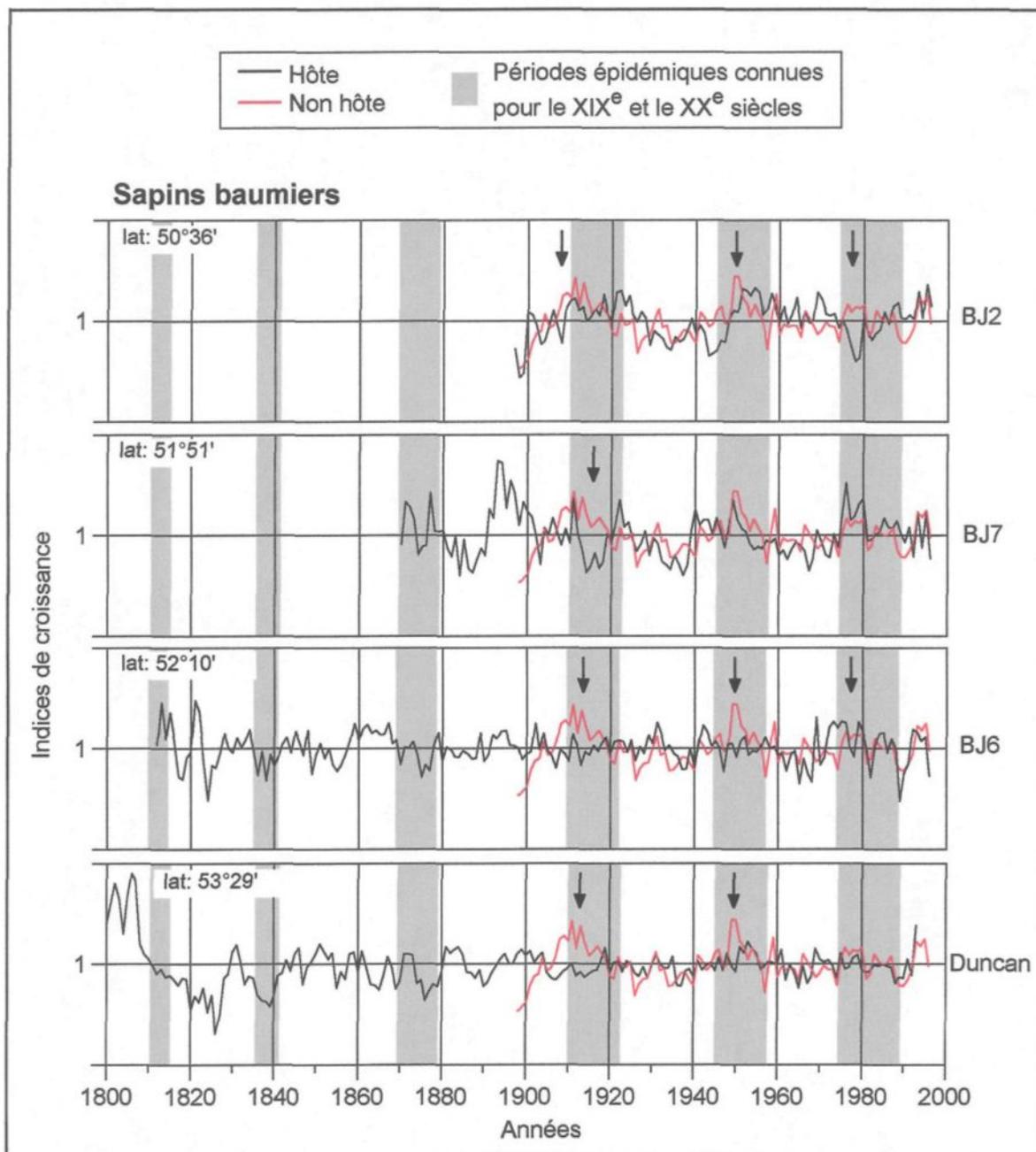
- Morin, H. 1994. Dynamics of balsam fir forests in relation to spruce budworm outbreaks in the Boreal Zone of Quebec. *Can. J. For. Res.* 24: 730-741.
- Morin, H. 1995. La tordeuse des bourgeons de l'épinette: importance des épidémies. *Quatre-temps* 19: 41-44.
- Morin, H. 1998. Importance et évolution des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est du Canada: l'apport de la dendrochronologie. *Géographie physique et Quaternaire*. 52: 237-244.
- Morin, H. et D. Laprise. 1990. Histoire récente des épidémies 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., D. Laprise et Y. Bergeron. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. *Can. J. For. Res.* 23: 1497-1506.
- Mott, D.G. 1963. The forest and the spruce budworm. Dans: *The dynamics of epidemic spruce budworm populations*. R.F. Morris eds. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 31: 189-202.
- Mott, D. G., L. D. Nairn et J. A. Cook. 1957. Radial growth in forest trees and effects of insect defoliation. *For. Sci.* 3: 286-304.
- O'Neil, L. C. 1963. The suppression of growth rings in jack pine in relation to defoliation by the Swaine jack-pine sawfly. *Can. J. Bot.* 41: 227-235.

- Payette, S. 1993. The range limit of boreal tree species in Québec-Labrador: an ecological and palaeoecological interpretation. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 79: 7-30.
- Régnière, J. 1984. Interpreting historical records. Dans: Recent advances in spruce budworm research. Proceedings, CANUSA Spruce budworms research symposium, 16-20 sept. 1984, Bangor, Maine. C. J. Sanders, R. W. Stark, E. J. Mullins et J. Murphy eds. *Can. For. Serv.* P. 143-144.
- Rowe, J. S. 1972. Les régions forestières du Canada. *Serv. Can. For. Publ.* 1300F. 172 p.
- Royama, T. 1984. Population dynamics of the spruce budworm *Choristoneura fumiferana*. *Ecological Monographs*, 54(4): 429-462.
- Schweingruber, F.H. 1986. Abrupt growth changes in conifers. *IAWA (Int. Assoc. Wood Anat.) Bull.* 7: 277-283
- Shepherd, R. F., T. G. Gray et G. T. Harvey. 1995. Geographical distribution of *Choristoneura* species (*Lepidoptera: Tortricidae*) feeding on *Abies*, *Picea*, and *Pseudotsuga* in western Canada and Alaska. *Can. Entom* 127: 813-830.
- Stokes, M. A., et T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago, London. 73 p.
- Swaine, J. M. et F. C. Craighead. 1924. Studies on the spruce budworm (*Cacoecia fumiferana* Clem.). *Can. Dept. Agr., Tech. Bull.* no. 37. 91 p.

- Swetnam, T. W. et A. M. Lynch. 1989. A tree-ring reconstruction of western spruce budworm history in the southern Rocky Mountains. *For. Sci.* 45: 962-986.
- Swetnam, T. W., M. A. Thompson et E. K. Sutherland. 1985. Spruce budworm handbook. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. United States Department of Agriculture handbook no. 639. 39 p.
- Swetnam, T. W., B. E. Wickman, H. G. Paul et C. H. Baisan. 1995. Historical patterns of western spruce budworm and Douglas-fir tussock moth outbreaks in the northern Blue Mountains, Oregon, since A.D. 1700. Res. Pap. PNW-RP-484. Portland, Oregon. U.S. Dep. Agric., For, Serv., Pacific Northwest Research Station. 27 p.
- Thibault, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation. Service de la recherche, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec (1:1 250 000)
- Turner, K. B. 1952. The relation of mortality of balsam fir, *Abies balsamea* (L.) Mill., caused by the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.), to forest composition in the Algoma forest of Ontario. Publ. Dep. Agric. Can. No. 875. 107 p.

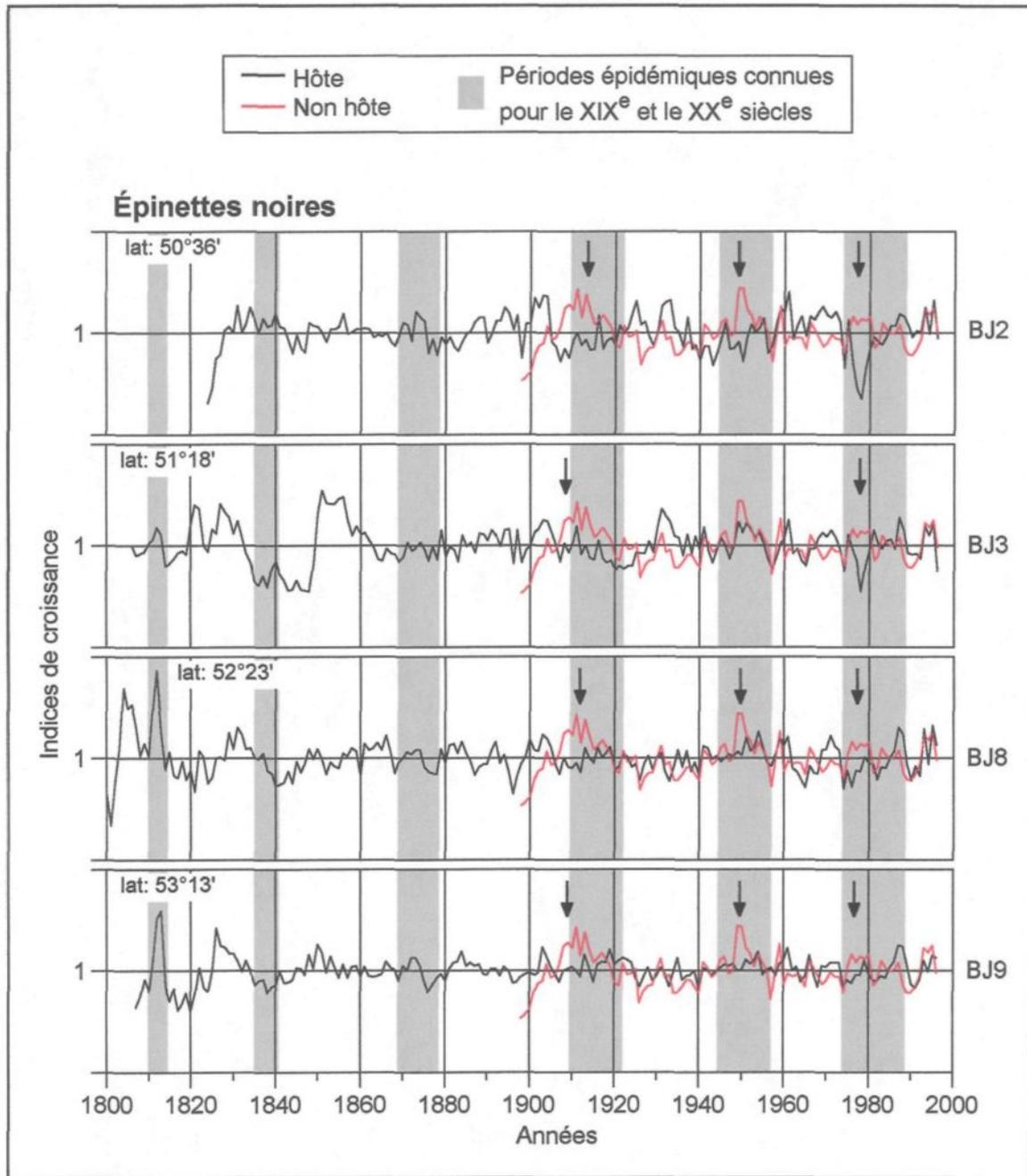
ANNEXES

Annexe 1



Comparaison des courbes de croissance des sapins baumiers (hôtes) avec celle des pins gris (non hôtes)

Annexe 2



Comparaison des courbes de croissance des épinettes noires (hôtes) avec celle des pins gris (non hôtes)