

**ANALYSE DENDROCLIMATIQUE
DE L'ÉPINETTE NOIRE
DANS L'AIRE DE NIDIFICATION
D'OISEAUX BORÉAUX
AU QUÉBEC**

Rapport de recherche No R-1170

2009

2009



photo 1 :

Embouchure de la rivière Godbout (J.-L. DesGranges)

Analyse dendroclimatique de l'épinette noire dans l'aire de nidification d'oiseaux boréaux au Québec

**Rapport technique préparé pour le compte
d'Environnement Canada,
Division de la recherche faunique et paysagère**

**Stéphanie Wicha¹, Jean-Luc DesGranges², Antoine
Nicault et Yves Bégin¹**

¹ I.N.R.S - Centre Eau Terre Environnement, Canada, Québec

stephanie.wicha@ete.inrs.ca

antoine.nicault@ete.inrs.ca

yves.begin@ete.inrs.ca

² Chercheur scientifique, Environnement Canada, Québec,

jean-luc.desgranges@ec.gc.ca

Résumé

Grâce à un échantillonnage d'arbres récoltés le long d'un transect boréal allant de Baie Comeau (entre 58°67 et 70°475 Ouest) sur la Moyenne Côte-Nord à Rigolet sur la côte du Labrador (49°325 et 53°64 Nord), une analyse dendrochronologique non exhaustive a pu être menée. Cette analyse avait pour objectif l'estimation des effets que pourra avoir le changement climatique sur l'aire occupée par les oiseaux nicheurs en zone boréale.

Les résultats dendrochronologiques nous permettent de distinguer trois régions climatiques. Une première qui comprend les sites méridionaux maritimes, une deuxième qui inclue les populations septentrionales labradoriennes, et enfin une troisième qui regroupe les populations du plateau central du Nouveau-Québec. Cette analyse confirme le rôle des températures hivernales de décembre et de janvier pour plusieurs sites et des températures estivales (mois de juillet pour d'autres sites) dans la croissance des arbres.

Nous observons donc globalement une différence de croissance chez l'épinette noire (*Picea mariana* Mill. BSP) qui correspond à des gradients longitudinaux distincts. Toutefois, dans un paysage très contrasté, avec d'importants reliefs, les niches climatiques sont nombreuses et elles créent beaucoup d'exceptions qui sont, à ce stade de l'étude, difficiles à évaluer.

La différence de comportement vis-à-vis du climat des arbres des sites étudiés laisse supposer que les peuplements pourraient être susceptibles de répondre différemment aux changements climatiques, ce qui peut avoir une incidence sur la nidification des oiseaux, soit directement par leur acclimatation différentielle à la température ou bien indirectement par la conséquence qu'ont les extrêmes climatiques sur la disponibilité de la nourriture pour nourrir leur nichée.

Table des matières

Résumé

Table des matières

Table des cartes

Table des tableaux

Table des figures

1. Introduction	6
2. Sites d'étude	8
3. Méthodes	9
3.1 Protocole d'échantillonnage	9
3.2 Préparation des échantillons	10
3.3 Mesure de la largeur des cernes	10
3.4 Standardisation	11
3.5 Calcul de coefficients décrivant la qualité des chronologies	12
3-5-1 <i>Sensibilité moyenne</i>	12
3-5-2 <i>Auto-corrélation</i>	12
3-5-3 <i>Inter-corrélation</i>	12
3.6 Analyses statistiques	12
3.6.1 <i>Classification hiérarchique</i>	12
3.6.2 <i>Analyse canonique de redondance</i>	13
3.6.3 <i>Fonctions de réponse de l'arbre au climat</i>	13
4. Résultats et discussion	15
4.1 Présentation des populations étudiées	15
4.2 Les cernes pâles	16
4.3 Sensibilité moyenne et inter-corrélation	18
4.4 Analyse hiérarchique : affinités régionales	20
4.4.1 <i>Les populations méridionales maritimes</i>	21
4.4.2 <i>Les populations septentrionales labradoriennes</i>	22
4.4.3 <i>Les populations du plateau central du Nouveau-Québec</i>	23
4.5 Interprétation des variables environnementales RDA	23
4.5.4 <i>Les relations cernes/climat</i>	26

5. Conclusion	32
6. Références	33
7. Appendices	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Inventaire des sites échantillonnés

Tableau 2 : Caractéristiques des séries dendrochronologiques

Tableau 3 : Variance expliquée par chacun des axes

Tableau 4 : R^2 entre variables environnementales et variables dendrochronologiques.

Tableau 5 : Résultats des fonctions de réponses des arbres aux variables températures, précipitations et neige

Tableau 6 : Fonctions de réponses, relation cernes et précipitations de neige et de pluie pour les mois d'octobre à février, de mars à mai, mai à juin et juillet à août.

Tableau 7 : Fonctions de réponses, relation cernes et températures de septembre à octobre, de novembre à janvier, mai et juillet. Les résultats significatifs sont surlignés.

Liste des figures

Figure 1 : Réseau dendrochronologique du projet ARCHIVES (2009).

Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage.

Figure 3 : Classification des populations par âge. Figure 4 : Cernes pâles.

Figure 5 : Occurrence des cernes pâles en nombre et par année dans les populations étudiées.

Figure 6 : Analyse en composantes principales effectuée sur les séries dendrochronologiques standardisées. Présentation des axes 1 et 2.

Figure 7 : Classification hiérarchique des séries dendrochronologiques standardisées.

Figure 8 : RDA. Interprétation des variables environnementales.

1. Introduction

Dans le cadre d'un programme de recherche d'Environnement Canada sur l'estimation des effets que pourra avoir le changement climatique sur l'aire occupée par les oiseaux nicheurs en zone boréale, des modèles prédictifs des liens climat – habitats – oiseaux doivent être développés afin de permettre leur couplage éventuel aux simulations climatiques régionales réalisées par Ouranos (www.ouranos.ca). Il s'agit d'identifier les espèces d'oiseaux nicheurs les plus sensibles aux extrêmes climatiques en forêt boréale, de façon à orienter les efforts futurs en matière de conservation de la biodiversité aviaire (futurs aires protégées et mesures de protection pour les espèces en péril). Comme les données climatiques servant à caractériser le climat (variabilité et tendances) sont plutôt éparses et fragmentaires, nous avons recours à la dendrochronologie comme méthode permettant de caractériser le climat dans les régions d'échantillonnage.

Cette étude a été précédée par un premier travail exploratoire (Meunier & DesGranges, 2007) portant sur l'influence des gradients latitudinaux et altitudinaux sur la croissance et la fertilité de l'épinette noire (*Picea mariana* Mill. BSP). Ce travail a contribué notamment à la définition des stratégies d'échantillonnage pour le terrain à l'étude. Toutefois, l'étude reposait sur un échantillonnage d'arbres d'âge très variable, mais aussi en nombre insuffisant (un seul arbre par site). La variabilité individuelle des arbres est trop grande et ne permet pas, dans ce cas, de connaître de manière effective le rôle du climat dans la croissance de l'arbre.

La recherche en cours est consacrée à l'établissement d'un réseau dendrochronologique le long de deux transects boréaux suivant les grands axes routiers sud-nord au Québec. La réalisation de ce projet s'est faite en trois étapes: 1) échantillonnage, par l'équipe d'Environnement Canada (dirigée par Jean-Luc DesGranges), de peuplements d'épinette noire le long d'un transect boréal latitudinal allant de Baie-Comeau sur la Moyenne Côte-Nord à Fermont (49°325' et 53°64' Nord) et un gradient longitudinal de Fermont à Rigolet sur la côte du Labrador (entre 58°67' et 70°475'O), 2) préparation et mesure des

échantillons (carottes d'arbres), interdatation des séries mesurées et mise en valeur des chronologies dans le réseau de dendroséries du projet ARCHIVES (Figure 1) ; et 3) détermination du potentiel dendrochronologique des populations d'arbres échantillonnées, caractérisation de l'affinité spatiale inter-peuplements et analyse du comportement de ces peuplements vis-à-vis du climat.

Cette approche doit permettre de mieux connaître la variabilité des conditions écologiques des peuplements d'épinette noire, du haut boréal, au sein desquels les oiseaux nichent. Cette étude devrait trouver son aboutissement lors d'une troisième et dernière phase consacrée au couplage des modèles climat – habitats – oiseaux.

Le présent projet s'inscrit en complément d'une vaste étude dendrochronologique du projet ARCHIVES cofinancé par Ouranos et le CRSNG, qui vise à établir un réseau dendroclimatique couvrant le dernier millénaire à l'échelle du Québec boréal. Les objectifs du projet sont d'allonger et de densifier spatialement les séries climatiques régionales dans une région où peu de stations existent. Le projet est nécessaire, car faute de registres environnementaux longs et denses, on doit produire une analyse climatique au moyen d'archives naturelles. La dendrochronologie est la méthode qui offre la meilleure résolution.

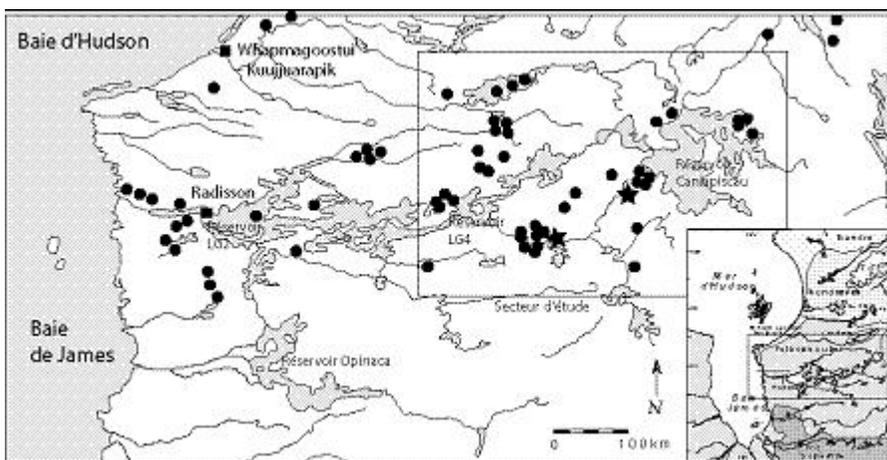


Figure 1 : Réseau dendrochronologique du projet ARCHIVES (2009)

2. Sites d'étude

Les 25 sites (populations) d'épinette noire qui font l'objet de notre étude, couvrent un large territoire au sein de la péninsule Québec-Labrador (Fig.2; Tableau 1). Ils se répartissent dans les trois régions : Manicouagan, Duplessis et Labrador. Ils suivent deux axes principaux Sud/Nord et Ouest/Est et sont compris entre les longitudes 58°67' et 70°475'O et les latitudes 49°325' et 53°64N.

Tableau 1 : Inventaire des sites échantillonnés.

Sites	Code site	Date échantillonnage	Longitude	Latitude	Exposition	Altitude (m)	nombre d'arbres
Rigolet	8-36M1	06-juil-06	58.50	54.14	nil	20	10
Monts Mealy	8-39J3	09-juil-08	58.67	53.48		550	10
Rivière Traverspine	8-33J1	03-juil-08	60.48	53.05	nil	290	10
Grand Lake	8-38J1	08-juil-08	60.75	53.64	nil	145	10
Réservoir Smallwood	8-26J1	sept-08	63.68	53.64	nil	500	11
Chutes Churchill	8-27M2	sept-08	64.31	53.60	nil	400	10
Mont Joseph	7-43J2	13-juil-07	65.46	50.98	sommet	1015	5
Mont Joseph	7-43J1	13-juil-07	66.28	50.86	ouest	800	10
Rivière Dominique	7-13J1	09-sept-08	66.80	50.05	nil	55	10
Port-Cartier	7-11D1	09-sept-08	66.98	49.94	nil	37	10
Lac à Toi	7-14V2	10-sept-08	67.00	50.77	Est	540	10
Monts Severson	7-30V2	12-sept-08	67.15	52.79	nil	665	10
Rivière Cassée	7-30D2	12-sept-08	67.25	52.81	nil	715	10
Petite rivière aux couleuvres	7-12D1	10-sept-08	67.43	50.25	sud	325	10
Camp forestier Arbec	7-25V2	sept-08	67.50	51.05		495	10
Rivière Godbout	7-09DJV1	09-sept-08	67.63	49.33	nil	18	10
Camp forestier Arbec	7-20V1	11-sept-08	67.73	51.08	nil	355	10
Rivière Hart-jaune	7-31V2	12-sept-08	68.00	51.76	nil	405	10
Monts Groulx	7-33D1	03-juil-07	68.05	51.32	nil	920	4
Monts Groulx	7-27J1	12-sept-08	68.23	51.62	Ouest	550	10
Réservoir Manicouagan	7-32J1	11-sept-08	68.35	51.11	Ouest	380	10
Mont Babel	7-33V2	03-juil-07	68.41	51.26	nil	905	3
Mont Babel	7-33V1	03-juil-07	68.42	51.26	Est	920	4
Mont Babel	7-33V3	03-juil-07	68.42	51.26	nil	900	3
Monts Otish	7-34JDV1	04-juil-07	70.48	52.31	nil	925	10

Les forêts choisies pour l'échantillonnage avaient sensiblement les mêmes caractéristiques, c'est-à-dire des peuplements d'épinette noire et la présence d'oiseaux en

nidification. Elles occupent toutefois des altitudes variées allant de 18m, rivière Godbout (7-09DJV1) à 1015 m, montagne rivière Moisie (7-43J2). L'échantillonnage s'est déroulé sur deux ans entre juillet 2007 et septembre 2008. Les stations isolées et situées au sommet des collines ont été échantillonnées en été, lors de leur visite en hélicoptère, afin d'y dénombrer les oiseaux nicheurs. Les stations facilement accessibles par la route ont été échantillonnées au début de l'automne 2008.

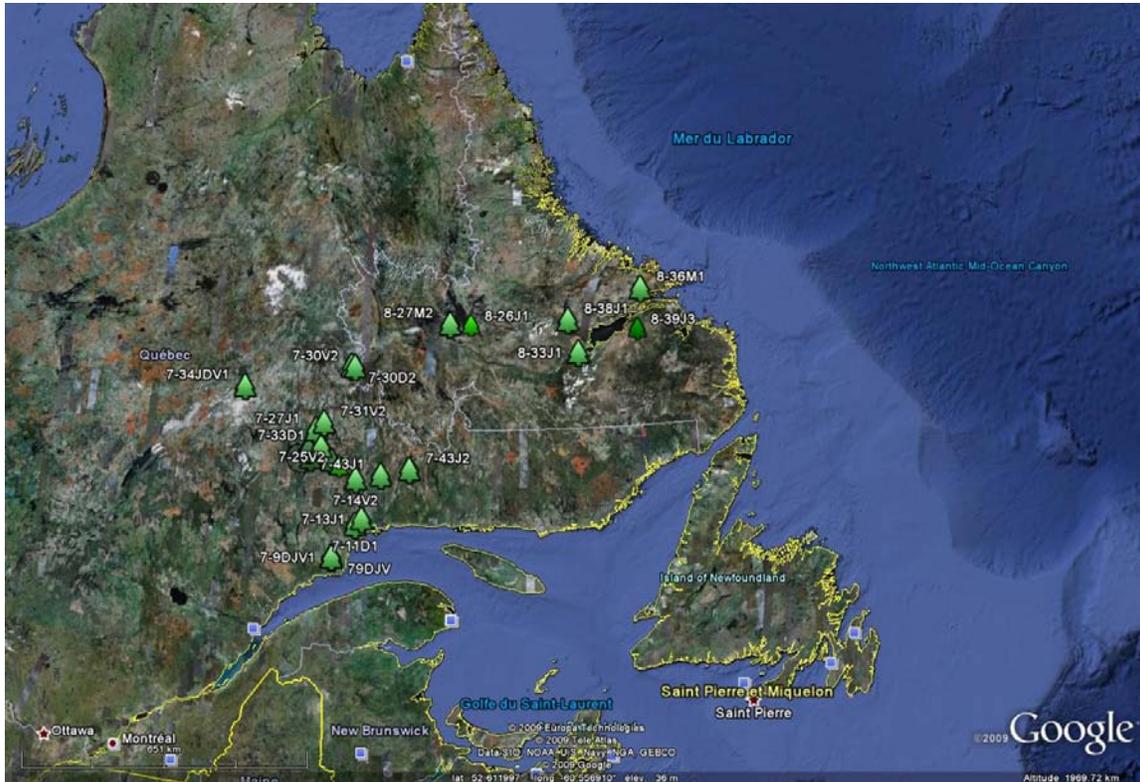


Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage

3. Méthodes

3.1 Protocole d'échantillonnage

Pour chaque station, 10 arbres ont été échantillonnés et deux carottes par arbre ont été prélevées à la base de l'arbre (à environ 40 cm du sol). Comme l'épinière noire est la

seule espèce arborescente présente sur l'ensemble de l'aire d'étude, seule cette espèce a été prise en considération.

Lors de cet échantillonnage, d'autres types de prélèvements ont été réalisés en vue d'analyses ultérieures. Chaque arbre a été mesuré (hauteur, diamètre à hauteur de prélèvement) et on en a produit une description sommaire (symétrie du port foliaire, branches cassées, parties érodées). Sur l'un des dix arbres, des sections transversales ont été prélevées à intervalle régulier (20 cm), tout le long du tronc, afin de réaliser des analyses histologiques en laboratoire. Ces analyses permettront ultérieurement l'étude des séquences de cernes de gel qui se révèlent un bon indicateur des conditions climatiques des sites au début de l'été. Nous avons en outre recueilli une dizaine de cônes par arbre pour les 3 à 5 dernières années afin de retracer, si nécessaire, l'évolution du pourcentage de germination des graines dans le temps.

3.2 Préparation des échantillons

Les carottes de bois échantillonnées ont d'abord été séchées lentement, puis préparées pour la mesure. Une fois collées sur des réglettes de bois, elles sont sablées afin de rendre les cernes de croissance parfaitement lisibles. Chaque carotte a fait l'objet d'observations sous la loupe binoculaire. Les cernes ont été dénombrés et inter-datés par comparaison entre les carottes d'un même site et des repères ont été marqués à chaque 10 ans afin de faciliter la mesure. À ce stade, chaque caractéristique anatomique est notée, comme, par exemple, les cernes pâles ou incomplets, la présence de bois de réaction ou de tension, les cicatrices et les cassures.

3.3 Mesure de la largeur des cernes

La mesure des épaisseurs de cernes est réalisée à l'aide du logiciel LIGNOVISION. Avec ce système, les carottes de bois sont scannées et ensuite mesurées par analyse d'image. Pour les arbres échantillonnés au mois de juillet, l'année initiale considérée pour la mesure est celle de l'année précédente. Par exemple, ceux échantillonnés en juillet 2008 sont mesurés à partir de l'année 2007, car le cerne de l'année en cours n'est pas complètement formé. Lors de cette étape, certaines carottes ou parties de carottes sont

éliminées, notamment celles comportant beaucoup de bois de réaction qui nuit à la détection du synchronisme des variations entre les arbres en raison de cernes anormalement larges ou étroits.

Dans le cadre de l'analyse dendrochronologique, nous travaillons à plusieurs niveaux d'étude. Le premier est la mesure des séries de largeurs de cernes de chaque arbre échantillonné. Le second a pour objet la réalisation de moyennes de croissance par arbre, puis par population. Nous travaillons sur ces moyennes pour comparer les sites et évaluer la relation cernes/climat.

3.4 Standardisation

Pour l'analyse de la croissance, les données ont été standardisées de façon à pouvoir calculer des moyennes par site et comparer les stations entre elles. L'étape de standardisation a deux objectifs principaux :

- 1)-Le premier objectif est d'uniformiser les variations de croissance au cours du temps, indépendamment des différences d'âge et des différences de croissance inter-arbres.
- 2)-Le deuxième objectif est d'extraire des séries de largeurs de cernes, les composantes non stationnaires liées à l'âge, ou, inversement, de favoriser certains signaux dans les séries indicées, le climat par exemple.

Pour traiter les données de ce projet nous avons utilisé une fonction « spline » qui est la méthode de lissage la plus utilisée en dendrochronologie (Cook & Peters, 1981). Cette étape a été réalisée grâce au logiciel ARSTAN. Les séries étudiées sont relativement courtes et les degrés de perturbation sont élevés. Nous avons donc choisi une fenêtre de 20 ans pour la fonction spline.

3-5 Calcul de coefficient décrivant la qualité des chronologies

3-5-1 Sensibilité moyenne :

La sensibilité moyenne exprime la variation relative des épaisseurs de cerne, par comparaison d'une année n à la suivante. La sensibilité moyenne varie entre 0 et 1. Théoriquement, plus ce coefficient est élevé plus la série de cernes est sensible au climat.

3-5-2 Auto-corrélation :

L'auto-corrélation est la corrélation des épaisseurs de cernes de l'année n sur l'année $n-1$. En effet, les épaisseurs de cernes sont statistiquement reliées, l'année n est plus ou moins corrélée à l'épaisseur de l'année $n-1$. La valeur de l'auto-corrélation est également un indicateur du potentiel climatique des chronologies de cernes.

3-5-3 Inter-corrélation :

L'inter-corrélation des séries a pour objectif la mesure de la puissance du signal, généralement climatique, commun à tous les arbres échantillonnés sur un même site, puis entre les sites. Il est possible qu'une chronologie avec une faible inter-corrélation puisse contenir un signal climatique très fort. À l'inverse, une chronologie avec une forte inter-corrélation peut ne pas répondre aux variables climatiques. L'inter-corrélation est une étape importante pour l'évaluation de la qualité des chronologies. Ainsi, une chronologie avec une faible corrélation inter-séries exige un plus grand nombre d'échantillons.

3.6 Analyses statistiques

3.6.1 Classification hiérarchique

La classification hiérarchique est une représentation des affinités entre objets (ici les séries dendrochronologiques) par un dendrogramme. La mesure de ressemblance est calculée par une matrice de distance euclidienne qui permet de comparer deux à deux les chronologies « maîtresses ». Ensuite, le groupement introduit des critères de décision qui permettent de déterminer si deux éléments sont suffisamment similaires pour être réunis dans une même unité (groupe). Le groupement ("clustering" en anglais) est une analyse multidimensionnelle qui vise à partitionner l'ensemble des objets. Celui-ci a été réalisé

grâce à la méthode d'agglomération de Ward. Cette dernière minimise la variance à l'intérieur des groupes et tend à produire des dendrogrammes avec des groupes compacts de taille égale.

3.6.2 Analyse canonique de redondance

L'analyse canonique de redondance est utilisée lorsqu'on veut connaître la part de variation d'un ensemble de variables « réponses » (ici les séries dendrochronologiques) attribuables à un ensemble de variables « explicatives » (les variables environnementales). Contrairement aux ordinations simples effectuées sur un seul tableau (comme par exemple l'ACP), les ordinations sous contraintes utilisent deux tableaux de données, dont l'un est considéré comme une réponse multivariée dépendante de variables explicatives contenues dans l'autre tableau. L'ordination sous contraintes de type RDA (analyse canonique de redondance) est dérivée de l'ACP (dont elle hérite des prémisses et des règles d'interprétation), mais avec l'intervention directe de variables explicatives, lesquelles peuvent être quantitatives ou qualitatives et dont le nombre ne peut excéder celui des variables « réponses ». Les variables que nous avons utilisées sont les chronologies « maîtresses » et trois matrices de variables environnementales comme variables explicatives : soit des variables géographiques, des variables climatiques et des variables décrivant la structure des peuplements forestiers. Les variables expliquant le plus la variabilité inter-sites ont été sélectionnées pour une analyse synthèse.

3.6.3 Fonctions de réponse de l'arbre au climat

Le premier objectif d'une fonction de réponse en dendroclimatologie est d'estimer l'influence moyenne du climat sur la croissance annuelle des arbres. Et plus exactement de déterminer dans quelle mesure les paramètres climatiques peuvent influencer la croissance de l'arbre. Cependant, si la croissance des arbres est contrôlée par un ensemble complexe de relations entre les conditions climatiques et les processus physiologiques, seuls les facteurs climatiques les plus contraignants sont enregistrés de façon régulière dans les séries dendrochronologiques et seront révélés par les fonctions de réponse.

Le calcul de fonctions de réponse est ici utilisé dans une optique d'une description des relations cernes-climat. C'est-à-dire dans le but de déterminer quels paramètres climatiques influencent la croissance, mais aussi quelle est la nature et la force de la relation entre climat et croissance. D'une façon générale, l'interprétation des relations cernes-climat doit reposer sur l'analyse de plusieurs sites, sur la cohérence régionale des résultats et sur la pertinence écophysologique des relations mises en évidence.

Dans les fonctions de réponse linéaires, les données météorologiques sont les régresseurs (températures, précipitations...) et les données dendrochronologiques sont les variables dépendantes.

La reproduction des résultats est testée par la technique « bootstrap » (Efron, 1979 ; Till et Guiot, 1990). La méthode permet, par tirage aléatoire avec remise, d'estimer les erreurs des coefficients de régression de la fonction de réponse en étudiant la variabilité des estimations faites à partir de sous-ensembles du jeu de données initiales. Ces échantillons sont, à chaque fois, utilisés pour calculer une fonction de réponse, avec les erreurs d'estimation associées. On itère le processus quelques dizaines, voire des centaines de fois. Les coefficients de la fonction de réponse et leurs intervalles de confiance sont donnés par la médiane sur ces itérations et les 2.5^{ième} et 97.5^{ième} percentiles.

La fiabilité globale de la fonction de réponse est évaluée d'une part sur la base du coefficient moyen de corrélation des années de calibration (RMC) au carré qui exprime le pourcentage de variance expliquée par le modèle et d'autre part par le rapport du coefficient de corrélation moyen des années de vérification (RMV) sur son écart-type (RMV/s) qui exprime la robustesse du modèle et donc sa valeur prédictive. Le poids de chaque variable climatique dans la régression est évalué par le rapport entre chaque coefficient de régression partielle (associé à chaque variable climatique) et son écart-type (R/s). Le signe de ce coefficient de régression partielle précise également la nature de la relation (directe ou inverse) entre la croissance et la variable climatique considérée. Si l'on suppose que les rapports mentionnés précédemment présentent une distribution normale, leur degré de signification sera établi selon les seuils suivants :

1,65 < R/s < 1,96	Significatif à 90%
1,96 < R/s < 2,58	Significatif à 95%
2,58 < R/s < 3,29	Significatif à 99%
R/s > 3,29	Significatif à 99,9%

Les fonctions de réponse ont été calculées sur la période 1961-2005 à partir des données mensuelles des précipitations totales, des précipitations de neige et des températures moyennes. Les données météorologiques sur grille (0.5°x 0.5°) ont été fournies par Dominique Tapsoba (Hydro-Québec). Les interpolations sur grille ont été réalisées grâce à la technique du krigeage avec dérive externe (Wackernagel, 1998 ; Tapsoba & *al.* 2005) en se servant de la topographie comme dérive externe.

La formation du cerne étant finie à la fin d'août, les données mensuelles sont utilisées en années biologiques, c'est-à-dire de septembre à août. Dans un premiers temps, les douze mois de températures, les douze mois de précipitations et dix mois de neige ont été utilisés successivement comme variables explicatives. Ensuite les fonctions de réponse des épinettes ont été recalculées avec une sélection des variables climatiques expliquant le mieux les variations de croissance radiale.

4. Résultats et discussion

4.1 Présentation des populations étudiées

Les populations d'épinette noire échantillonnées sont relativement jeunes, une centaine d'années en moyenne. La population la plus remarquable par son âge est 7-25V2 (Camp forestier Arbec), vieille de 235 ans.

On peut remarquer la difficulté de travailler sur des populations trop jeunes, dans ce cas le signal climatique est peu exprimé, la compétition et les conditions édaphiques ayant un rôle prépondérant dans les premières années de croissance. De plus durant cette phase juvénile de croissance (environ les 50 premières années), l'arbre édifie son modèle

architectural, il construit son appareil foliaire et il atteint sa maturité reproductive. Sa croissance secondaire est proportionnelle à sa capacité photosynthétique, elle-même sous la dépendance de la construction du feuillage. L'analyse des relations cernes-climat reste très aléatoire tant que la masse foliaire et que la production de biomasse ligneuse ne se sont pas stabilisées.

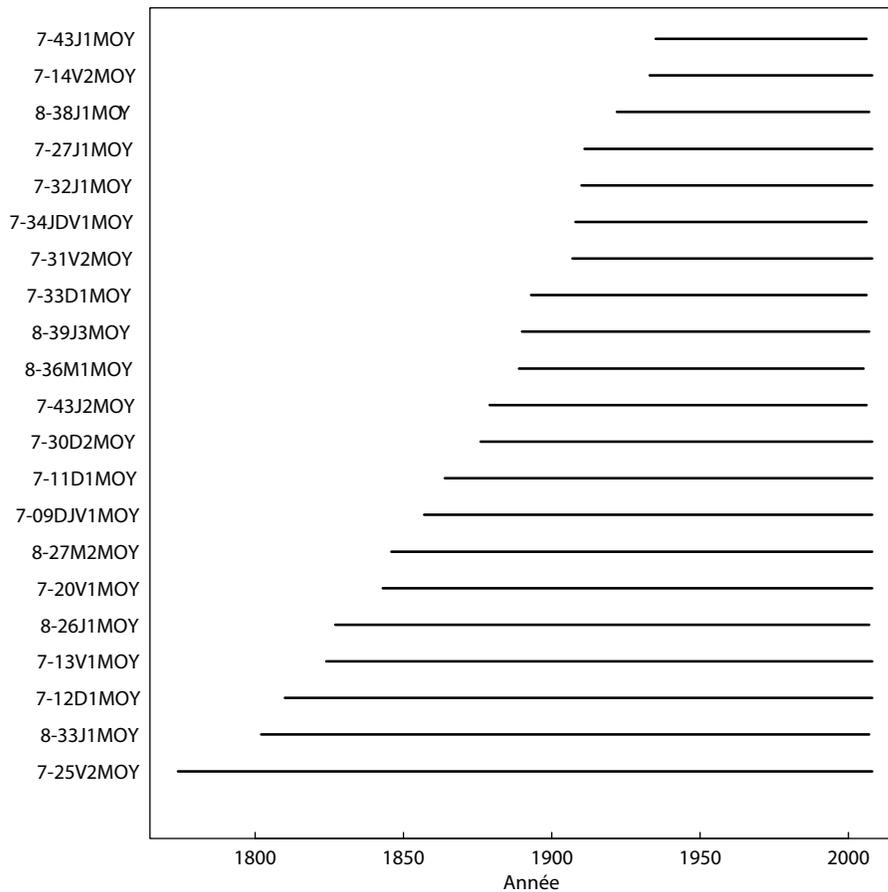


Figure 3 : Classification des populations par âge. Globalement jeunes, les populations échantillonnées se répartissent en trois tranches d'âge variant entre 100, 150 ans et 200 ans, avec une population exceptionnellement plus vieille 7-25V2, 235 ans. (logiciel Dplr r-project).

4.2 Les cernes pâles

Les cernes pâles sont des cernes dont le bois final est caractérisé par des cellules à parois très fines (Fig.2) (Filion *et al.*, 1986). Ce phénomène est observé surtout chez les arbres

situés aux limites forestières latitudinales et altitudinales de l'aire de répartition géographique de leur espèce. La plupart de ces cernes sont associés à des éruptions volcaniques. Par exemple l'éruption du volcan Tambora en 1815, à l'Est de l'archipel indonésien, a eu un impact prolongé sur la croissance des arbres du subarctique, durant les deux années suivant l'éruption. Les changements d'atmosphère et de température créent une distorsion du bois final à la fin de la saison de croissance. Il semble que les fluctuations de température causées par les gaz des éruptions volcaniques aient une amplitude de dispersion plus marquée sur les hautes altitudes, en haute latitude. On note également, que certains cernes pâles, comme celui à forte occurrence de 1972, ne correspondent à aucune éruption volcanique majeure connue, les conditions de rayonnement solaire avec beaucoup de particules en suspension pouvant également être un facteur explicatif de la création de cernes pâles (Filion *et al.*, 1986; Delwaide *et al.*, 1991).

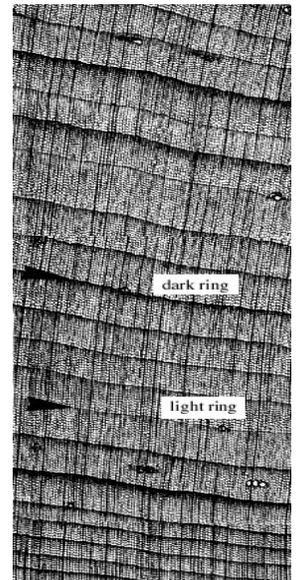


Figure 4 : Cernes pâles
(http://www.wsl.ch/dbdendro/glossary/viewImage_EN)



Dans le cadre de notre étude, nous avons pu observer la présence de cernes pâles dans les chronologies de cernes de neuf stations. Les résultats montrent une augmentation de ces cernes diagnostiques, dans le nombre d'années affectées et dans leur fréquence d'apparition, de la région du plateau central du Québec, à la région du Labrador sur la façade atlantique.

Ainsi, pour les cinq populations du Labrador (8-26J1, 8-27M2, 8-33J1, 8-36M1 et 8-39J3), on remarque la présence d'une dizaine d'années marquées par des cernes pâles. En revanche, pour les populations localisées à la même latitude mais plus à l'ouest, soit pour les populations les plus continentales, 7-27J1, 7-30V2, 7-30D2, 7-34JDV1, on ne compte que deux à trois telles années.

Certaines stations comme 8-38J1, 7-43J1, 7-33D n'ont pas de cerne pâle, ce qui peut être surprenant étant donné leur localisation au sommet de montagnes. On peut émettre les hypothèses suivantes, soit les populations sont trop jeunes, soit elles présentent trop de bois de réaction.

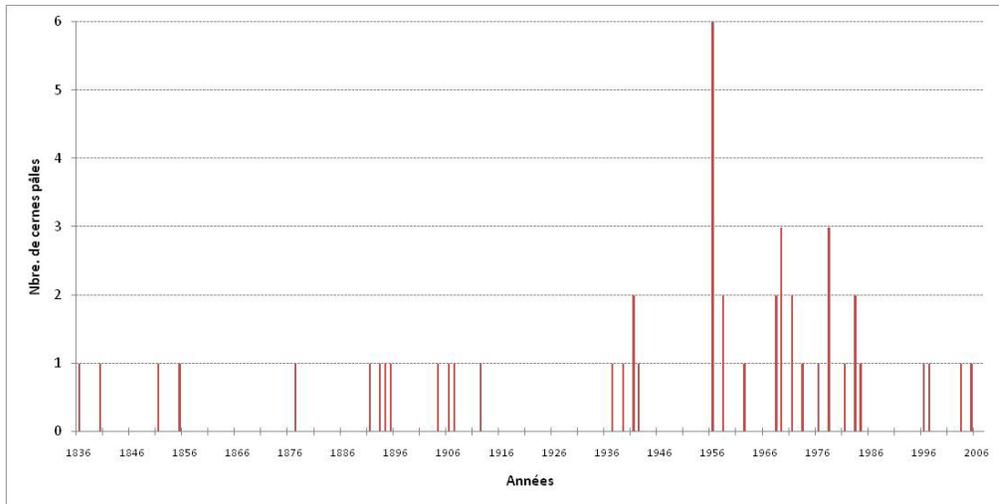


Figure 5 : Occurrence des cernes pâles en nombre et par année dans les populations étudiées.

Certaines éruptions volcaniques majeures peuvent être associées aux cernes pâles repérés dans cette étude. En 1902, l'explosion du Santa María en Argentine et de la montagne Pelée en Martinique peuvent être à l'origine des cernes pâles de 1904, 1906, 1907. En 1912, le Novarupta a fait éruption en Alaska. Le volcan Tristan da Cunha, sur l'île de Sainte-Hélène (Royaume-Uni) a fait éruption en 1961-1962 et en 2004. Le Surtsey, localisé sur une île européenne appartenant à l'Islande connaît une éruption majeure de 1966 à 1967. Le volcan Eldfell, également en Islande, sur l'île de Heimaey, éclate en janvier 1973. L'éruption du mont Saint Helens en 1980, dans l'état de Washington, est l'éruption volcanique la plus importante jamais enregistrée aux États-Unis. On note aussi le Galunggung en Indonésie en 1982, le El Chichon au Mexique en 1982, le Kilauea et le Mauna Loa dans l'archipel d'Hawaï, respectivement en 1983, l'Etna en Sicile en 2003 et enfin le piton de la Fournaise, le volcan actif de l'île de La Réunion, en 1961, 1986 et 2004.

4.3 Sensibilité moyenne et inter-corrélation

L'indice de sensibilité moyenne d'un arbre au climat, selon Schweingruber (1988), peut varier de 0,650 (pour des conifères très sensibles à la sécheresse) à 0,150 pour les arbres les moins sensibles. Nos résultats montrent une faible sensibilité des séries moyennes,

soit autour du seuil prédéfini de 0,150. Ceci s'explique par le fait que l'espèce *Picea mariana* est bien adaptée aux conditions climatiques du milieu. L'épinette noire n'est donc pas très sensible aux variations interannuelles du climat. Elle l'est surtout dans des habitats particuliers où ses conditions de croissance sont déjà limitées par un autre facteur que vient exacerber les extrêmes climatiques.

Sites	1ère année	Derniere année	Nombre d'années	Cerne moyen	Cerne median	Erreur standart	Sensibilité moyenne	Autocorrélation d'order 1	coefficient d'intercorrelation
743J1	1935	2006	71	0.67	0.65	0.25	0.23	0.60	0.42
714V2	1933	2008	76	1.26	0.94	0.79	0.16	0.90	0.61
838J1	1922	2007	78	0.90	0.76	0.51	0.16	0.84	0.53
734JDV1	1908	2006	99	0.59	0.56	0.23	0.21	0.73	0.30
732J1	1910	2008	99	0.91	0.86	0.36	0.16	0.82	0.52
731V2	1907	2008	102	0.83	0.77	0.47	0.16	0.87	0.50
836M1	1889	2005	117	1.13	1.04	0.53	0.16	0.86	0.58
730V2	1890	2008	119	0.73	0.68	0.33	0.16	0.83	0.56
743J2	1879	2006	128	0.38	0.34	0.19	0.25	0.72	0.08
730D2	1876	2008	133	0.91	0.89	0.31	0.19	0.65	0.42
711D1	1864	2008	140	0.46	0.38	0.29	0.24	0.82	0.49
839J3	1866	2008	142	0.51	0.47	0.22	0.24	0.67	0.46
7-09DJV1	1857	2008	152	1.18	1.10	0.57	0.23	0.79	0.48
733V	1845	2006	162	0.51	0.46	0.22	0.22	0.72	0.48
827M2	1846	2008	163	0.62	0.55	0.30	0.17	0.85	0.52
720V1	1842	2008	167	0.86	0.80	0.37	0.17	0.85	0.43
713V	1824	2008	177	0.71	0.63	0.37	0.22	0.78	0.43
826J1	1827	2008	181	0.60	0.56	0.23	0.17	0.78	0.54
712D	1810	2008	199	0.76	0.69	0.33	0.17	0.84	0.46
833J1	1802	2007	206	0.81	0.80	0.29	0.17	0.76	0.52
725V2	1774	2008	235	0.48	0.48	0.19	0.19	0.77	0.53

Tableau 2 : Caractéristiques des séries dendrochronologiques.

Pour l'inter-corrélation (Coefficient de corrélation de Pearson), les résultats de 0,4 correspondent à un signal fiable. Nos résultats montrent que l'inter-corrélation entre les populations n'est pas très bonne. En effet, seuls quelques peuplements présentent un seuil à 0,4, 0,5 ou 0,6. La valeur maximale du coefficient étant de 0,9 une valeur proche de 0,6 serait davantage significative.

L'interprétation des résultats devra donc tenir compte de ces observations qui montrent que les chronologies ne sont pas très sensibles aux fluctuations interannuelles du climat, et que vu le faible coefficient d'inter-corrélation, la réplication au sein de chaque chronologie reste insuffisante pour obtenir des résultats solides. Ainsi, nombre de nos interprétations devront reposer sur la prise en compte d'une cohérence spatiale dans les résultats afin de compenser la probable faiblesse de degré de signification statistique de

ces résultats, notamment concernant l'analyse des relations cernes-climat. De plus, les faibles effectifs de chacune des populations échantillonnées ne facilitent pas la réplication

4.4 Analyse hiérarchique : affinités régionales

D'après les analyses en composantes principales, complétées en partie par les résultats de la classification hiérarchique (cf.Fig.5), les sites d'étude semblent respecter une répartition en trois groupes géographiques distincts :

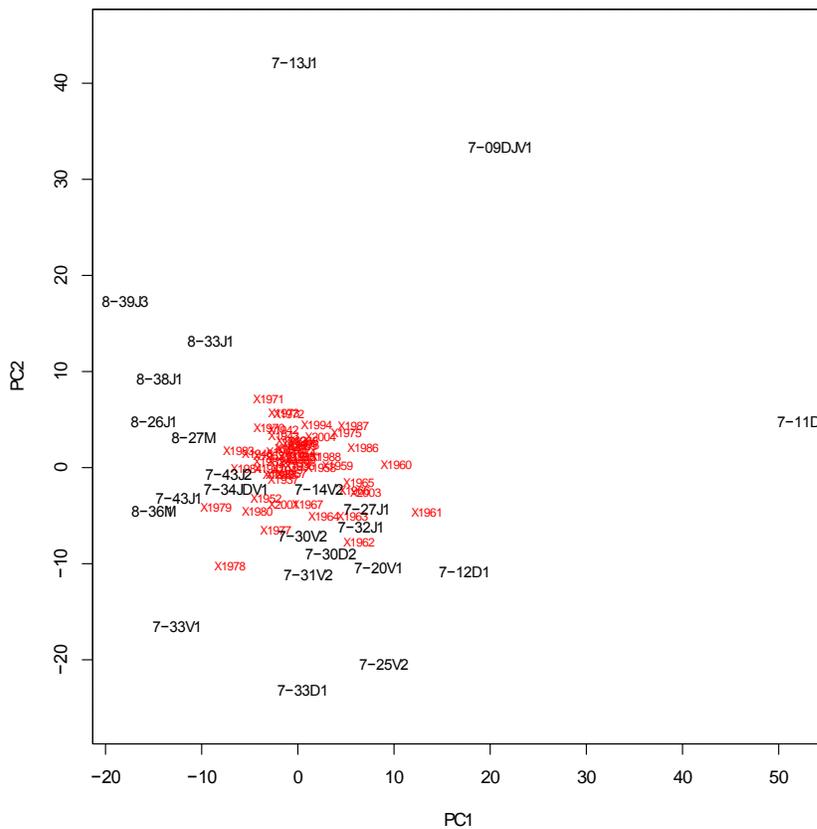


Figure 6 : Analyse en composantes principales effectuée sur les séries dendrochronologiques standardisées. Présentation des axes 1 et 2.

Tableau 3 : Variance expliquée par chacun des axes

PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
26.33	16.52	13.88	9.81	9.02	8.38	6.46	0.59

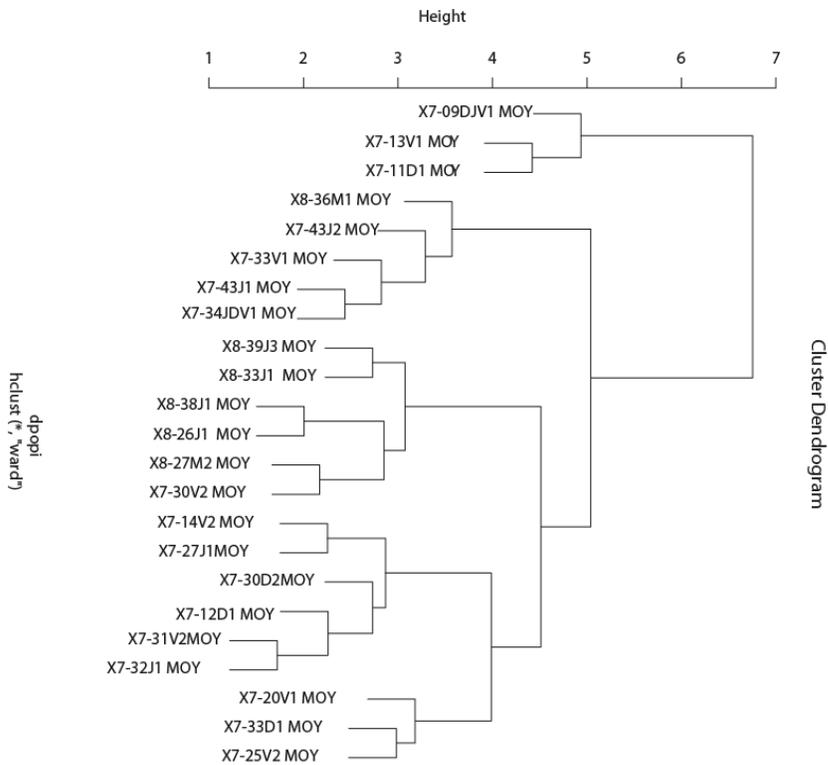


Figure 7 : Classification hiérarchique des séries dendrochronologiques standardisées. Classification réalisée sur la base d'une matrice de distance euclidienne et selon la méthode d'agrégation de Ward (logiciel r-Project)

4.4.1 Les populations méridionales maritimes

Le peuplement échantillonné à l'embouchure de la rivière Godbout (7-09DJV1) est le plus à l'ouest de ce groupe, localisé sur une terrasse marine, entre les montagnes et la mer. Âgé de 152 ans, il est aussi le plus bas en altitude à 18 m au-dessus du niveau de la mer. C'est une forêt de conifères composée d'épinette noire et de sapin baumier (*Abies balsamea*), les arbres échantillonnés témoignent d'une probable épidémie de tordeuse. En effet, la dernière infestation majeure à l'est du Canada s'est prolongée des années 1970 au milieu des années 1980. Or, deux cernes minces en 1978 et en 1984 apparaissent de façon récurrente (<http://insect.glf.forestry.ca/files/553.pdf>). L'étude du sapin baumier sur ce site permettrait de confirmer cette hypothèse, le sapin étant généralement la

première essence attaquée par les chenilles de la Tordeuse du bourgeon de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*).

Les autres populations de ce groupe ne présentent pas ces mêmes caractéristiques. La population de la base de plein air Les Goélands (7-11D1, à l'ouest de Port-Cartier) est à 37 m d'altitude. Sa série longue de 145 ans présente beaucoup de bois de réaction et des cernes très minces en périphérie de l'écorce. La station 7-13J1, située en bordure de la rivière Dominique, à 55 m d'altitude, est âgée de 185 ans. Enfin, la dernière population de ce groupe des maritimes 7-12D1 localisée sur le site de la Petite rivière aux couleuvres à 325 m d'altitude, est âgée de 199 ans. Ce groupe des Maritimes est donc composé de populations relativement âgées de plus de 150 ans et établies à basse altitude.

4.4.2 *Les populations septentrionales labradoriennes*

Cette association peut être subdivisée en trois sous-groupes selon apparemment la distance aux grands plans d'eau et la rigueur hivernale. Le premier sous-groupe comprend deux peuplements. Un premier échantillonné à 550 m d'altitude aux Monts Mealy (8-39J3) qui présente un couvert arboré bas très ouvert (de l'ordre de 20%) comprenant un mélange d'épinettes noires et de sapins baumiers. Les monts Mealy (*Akamiuapishku* en *innu*) constituent une écorégion alpine subarctique distincte au sein de l'écozone du Bouclier boréal du centre du Labrador. Caractérisée par une toundra répartie « en couronne » sur les terres hautes, au-dessus des talus forestiers et dans les vallées, elle est située beaucoup plus au sud que les autres écosystèmes nordiques semblables. À cette station s'ajoute un deuxième peuplement situé à 290 m d'altitude sur le contrefort des monts Mealy, échantillonné à la rivière Traverspine (8-33J1), avec une densité de végétation de l'ordre de 50 à 75%.

Le second comprend un peuplement établi à 400 m d'altitude au lieu même de la chute Churchill (8-27M2) sur la rivière du même nom. S'ajoute une station située en bordure du réservoir Smallwood (8-26J1) à 500 m d'altitude. Enfin, un peuplement du secteur de Goose Bay (8-38J1) situé à 145 m d'altitude en bordure du très grand lac Melville. À noter que dans cette association, 8-38J1 est la population la plus septentrionale, pour une altitude moindre.

Le troisième sous-groupe comprend quatre peuplements sujets à des hivers particulièrement rigoureux. La population échantillonnée à Rigolet (8-36M1) est située en bordure de la mer du Labrador, à 20 m d'altitude. C'est la population la plus nordique (54.14 de latitude nord). À noter que d'après le dendrogramme, cette population, est celle qui a le plus d'affinités avec les populations montagnardes situées plus à l'ouest du Québec soit 7-33V1 (920m), 7-34JDV1 (925m) et 7-43J1 (800m). Cette association semble logique, car la haute altitude offre *a priori* un même contexte qu'une latitude extrême, dans un contexte maritime avec un fond froid marqué. Effectivement, à Rigolet les hivers longs et froids commencent vers la mi-novembre et se terminent à la fin de mai. Les mois de décembre, de janvier et de février sont les plus froids, alors que la température moyenne se situe à -30°C. L'été, qui commence au mois de juin, est généralement très doux. Le printemps et l'automne sont très humides avec beaucoup de pluie et de brume.

4.4.3 Les populations du plateau central du Nouveau-Québec

Ce groupe est le plus important par son nombre, mais c'est aussi le moins significatif du point de vue de son interprétation. Dans ces populations, il y a celles de hautes altitudes, du secteur des Monts Groulx et de la rivière Moisie, 7-43J1 (800m), 7-33V1 (910m), 7-34JDV1 (925m) et 7-43J2 (1015m). On remarque aussi des peuplements fermés établis à moyenne altitude dans la région nord-côtière des rivières Sainte-Marguerite et Manicouagan [7-30D2 (715m), 7-30V2 (665m), 7-27J1 (550m), 7-14V2 (540m), 7-25V2 (495m; notre plus vieille population), 7-31V2 (405m), 7-32J1 (380m) et 7-20V1 (355m)] où se pratique l'exploitation forestière.

Il convient de souligner que certains échantillons se composent pour l'essentiel d'arbres jeunes (contraintes liées à l'exploitation forestière) et qui présentent pour certains beaucoup de bois de réaction susceptible d'engendrer des erreurs d'inter-datation sur des séries courtes. Nous pensons donc que, malgré la parenté géographique de ces populations, leur lien à ce grand groupement demeure flou.

4.5 Interprétation des variables environnementales RDA

Les variables environnementales utilisées dans la matrice de variables explicatives sont des variables de type géographique (latitude, longitude, altitude et distance à la mer) (Fig. 6a), des variables visant à caractériser la structure du peuplement (recouvrement de la strate arborée, recouvrement de la strate arbustive, % d'épinette de la strate arborée (EPN_arbo), indice de dominance de l'épinette noire (Domepi), l'âge du peuplement, et SAB la présence de sapin) (Fig. 6b) et enfin des variables de type météorologique (Moyenne des températures moyennes annuelles, moyenne des températures maximales estivales, moyenne des températures minimales hivernales, moyenne des précipitations estivales, moyenne de la somme des précipitations estivales, moyennes de la somme des précipitations neigeuses, ainsi qu'un indice de rusticité (*cf.* annexe, Fig. 6c ; McKenney et al, 2001).

Les résultats de la RDA sur les variables géographiques (fig. 6a) montrent ici que les deux vecteurs principaux, qui expliquent la répartition de nos sites sur l'axe 1, sont la latitude et la longitude. Ces deux variables expliquent respectivement 14% et 19% de la variabilité inter-site (Tableau 4). La variable altitude explique la répartition sur l'axe 2 mais explique une très faible part de la variance (environ 4%). Par ailleurs, la variable distance à la mer n'intervient que très peu dans la distribution des sites et n'existe que grâce au site 7-11D.

Les variables « structure du peuplement » opposent les sites sur les critères de recouvrement des strates arbustives et strates arborescentes. Cependant, c'est le facteur âge des populations, avec un coefficient R² de 0,16 qui explique le plus de variance inter-sites sur l'axe 1. On peut noter que la présence de sapin est liée au facteur âge des sites.

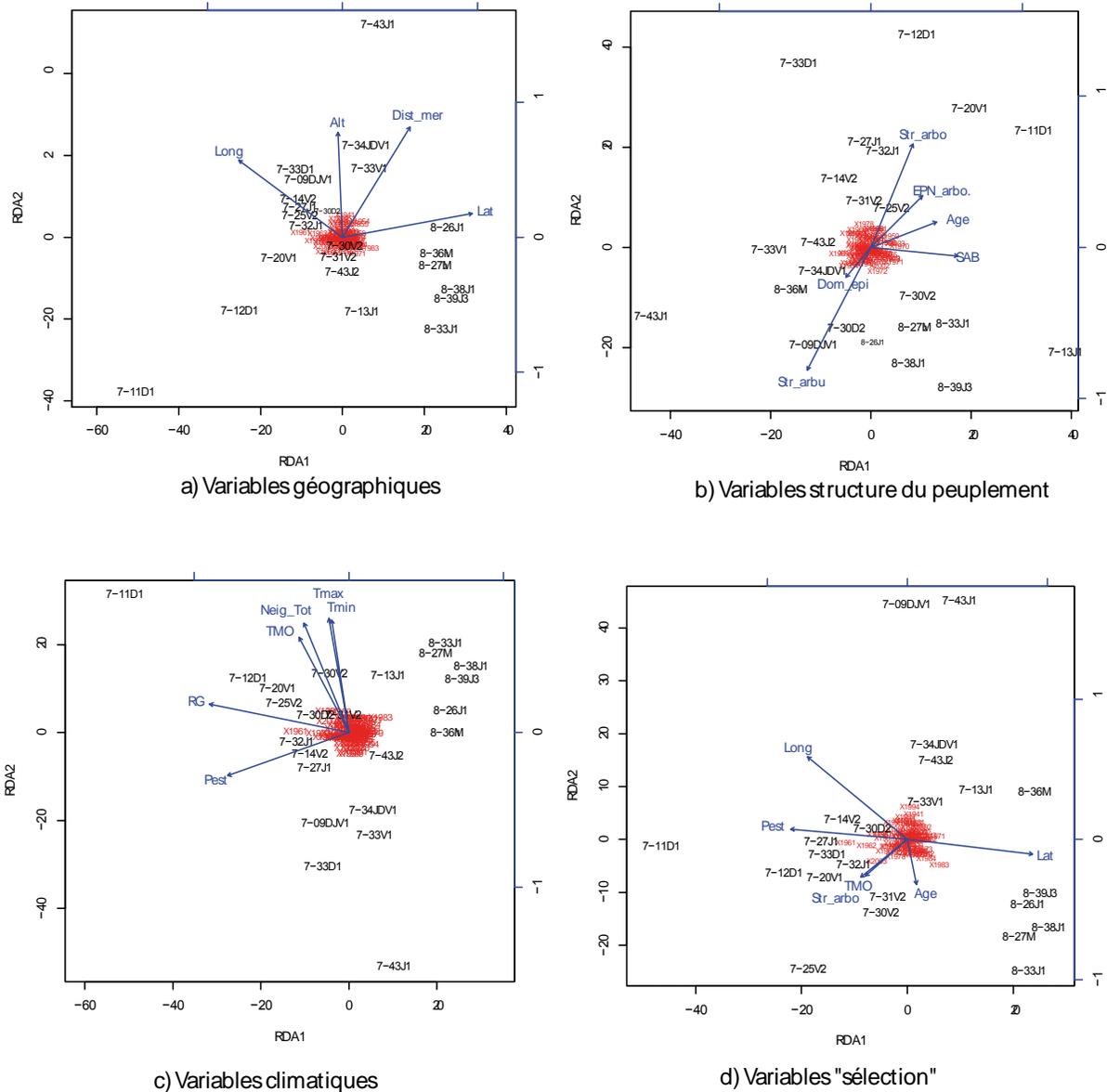


Figure 8 : RDA. Interprétation des variables environnementales

L'information « strate arbustive » se différencie nettement de la variance « latitude ». Effectivement, la strate arbustive est un type de recouvrement que l'on retrouve à la fois dans les peuplements de haute altitude et dans les peuplements les plus au nord, ce sont dans les deux cas des milieux ouverts.

Concernant les variables climatiques, on remarque que Tmo, Tmin, Tmax et Neig tot sont porteuses du même type d'information. Les flèches de ses 4 paramètres climatiques sont toutes regroupées dans le même secteur. Elles expliquent la répartition des sites sur l'axe 2. Par ailleurs, les variables Pest et Rusticité expliquent la répartition des sites sur l'axe 1. Ces deux dernières variables expliquent à elles seules 11% pour la rusticité et 18% pour les précipitations estivales de la répartition des sites sur l'analyse en composante principale (Tableau 4).

Tableau 4 : R^2 entre variables environnementales et variables dendrochronologiques. (Calculés avec envfit, Package Vegan , R-project).

Géographie						
Variables	Long	Lat	Alt	Dist_mer		
R2	0.1901	0.138	0.0337	0.0041		
Climat						
Variables	Pest	RG	TMO	Tmax	Tmin	Neig_Tot
R2	0.1749	0.1159	0.0161	0.0129	0.0101	0.0022
Structure du peuplement						
Variables	Age	Str_arbo	SAB	Dom_epi	Str_arbu	EPN_arbo
R2	0.1661	0.0784	0.0424	0.0128	0.0021	0.0019

La dernière analyse de redondance effectuée avec les variables environnementales ayant le meilleur coefficient R^2 montre que la latitude, la longitude et, à l'opposé, les précipitations estivales (plus importantes dans le sud de l'aire d'étude) expliquent la répartition des sites sur l'axe 1 et l'âge explique la répartition des sites sur l'axe 2. Ces trois variables sont les variables expliquant le mieux les variations inter-sites des séries dendrochronologiques. L'analyse des fonctions de réponse va nous apporter des informations sur les relations entre les cernes des arbres et les variations temporelles du climat.

4.5.4 *Les relations cernes/climat*

Dans un premier temps, nous avons calculé les fonctions de réponse des largeurs de cernes moyennes de chaque population aux variables climatiques mensuelles (températures, précipitations de pluie et de neige) de l'ensemble d'une année bioclimatique, soit de septembre à août. Dans un deuxième temps, en considérant les résultats préliminaires, nous avons choisi de sélectionner les mois les plus pertinents de chacune des variables climatiques et nous les avons regroupés dans un même calcul, d'une part pour les températures et d'autre part pour les précipitations de neige et de pluie, pour en améliorer les résultats.

La variance des largeurs de cernes expliquée par les variables climatiques (exprimée par le coefficient de détermination R^2) est très faible pour la majorité des populations et ce quelque soit le type de variable climatique considéré. Quant à l'analyse du degré de signification des fonctions de réponse, elle montre que quasiment aucune fonction de réponse n'est significative et donc que les relations observées ne sont pas stables et par conséquent non reproductible d'un point de vue statistique. Ces résultats ne sont cependant pas étonnants, vu les faibles valeurs du coefficient de sensibilité moyenne (Tableau 2) qui montrent que l'épinette noire est une espèce peu sensible aux variations climatiques.

Malgré que la relation cerne-climat (pour les populations sous-échantillonnées) ne nous permette pas de faire une reconstitution climatique en bonne et due forme, il n'en demeure pas moins que la cohérence observée dans les résultats, et notamment dans la relation cerne/température, nous permet de tenter malgré tout une interprétation régionale des relations cerne-climat. Les patrons dégagés de cet exercice pourraient bien s'avérer significatifs advenant que nous disposions éventuellement d'un effectif statistique adéquat.

Tableau 5 : résultats des fonctions de réponse des arbres selon les variables températures, précipitations et neige.

A) Relations cernes / température moyenne mensuelle

POP	R2	RMV/s	POP	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
79DJV	0.21	-1.18	79DJV	0.61	-0.06	-1.21	0.95	0.04	-0.70	0.03	0.28	0.12	-0.35	1.12	-0.50
743J1	0.23	-1.23	743J1	-0.48	-0.04	0.96	-0.77	-0.91	-0.06	1.01	-0.54	0.81	1.43	-0.80	-0.28
826JL	0.25	-0.03	826JL	-0.52	0.22	0.32	-0.66	0.69	-0.05	-0.46	-0.98	1.12	1.31	2.53	0.57
826JL	0.26	-0.07	826JL	-0.48	0.21	0.23	-0.52	0.66	0.02	-0.44	-1.02	1.11	1.34	2.44	0.47
711D1	0.26	-0.31	711D1	1.49	0.25	-1.14	1.24	0.74	-1.25	-0.02	0.32	1.27	0.74	-0.29	-1.46
733D1	0.26	-0.46	733D1	-0.44	-0.66	0.69	-0.44	1.80	-0.61	-0.99	-0.41	1.48	-0.85	0.02	0.56
727JL	0.28	-0.90	727JL	0.86	-0.41	0.02	0.81	0.13	-0.04	1.01	1.04	0.51	-0.88	1.41	-0.19
712D1	0.31	-0.36	712D1	-1.86	-1.09	-0.29	-0.38	1.02	0.74	-0.07	0.12	-0.21	-1.01	0.10	-0.16
713V1	0.33	-0.71	713V1	0.81	0.23	-0.70	0.01	-0.28	0.43	-0.26	0.71	-0.37	-1.30	1.98	0.12
827M2	0.34	0.02	827M2	-0.16	1.14	1.25	0.23	1.56	0.55	-0.01	-0.51	-0.24	0.70	2.66	-0.11
720VL	0.34	-0.15	720VL	0.24	-1.75	1.37	0.47	1.50	0.27	0.15	-1.61	1.41	-0.73	0.34	0.22
839J3	0.34	-0.55	839J3	-1.60	-0.50	0.57	0.03	0.56	-0.60	-0.68	-0.34	0.13	1.30	1.57	-0.55
730D2	0.35	0.01	730D2	1.49	-0.31	0.17	0.49	0.80	-0.57	-1.26	-1.20	0.43	-0.74	0.54	1.44
725V2	0.35	-0.03	725V2	0.98	-0.42	1.44	1.37	1.25	-0.37	0.53	0.27	1.00	-0.28	0.65	0.65
714V2	0.37	0.23	714V2	-0.80	-1.46	-1.49	1.30	0.80	-0.23	-1.60	1.11	0.64	-0.63	0.54	0.48
836ML	0.38	0.16	836ML	1.15	1.79	1.69	-0.97	1.61	0.28	2.02	0.62	0.04	0.70	0.32	-0.04
743J2	0.38	0.32	743J2	-0.68	2.41	0.73	-0.51	0.71	-0.75	0.73	1.11	1.13	0.84	-0.56	-0.29
838JL	0.38	1.06	838JL	1.17	-0.43	-0.11	-1.22	0.99	0.81	0.41	-2.81	-0.17	0.61	3.47	1.40
732JL	0.43	0.74	732JL	-2.32	-3.82	0.18	1.10	1.53	-0.80	-0.15	0.47	1.58	-1.17	-0.27	0.80
833JL	0.43	0.42	833JL	0.10	0.24	-0.08	-0.55	1.44	0.30	0.79	-1.00	-0.08	0.26	4.65	-0.07
733V	0.45	1.34	733V	-2.45	0.19	4.76	0.41	2.63	-1.37	-0.80	-1.01	1.67	-0.31	-1.09	1.36
730V2	0.48	1.26	730V2	-0.29	-0.34	1.13	1.98	3.39	0.28	-2.14	-2.67	1.18	2.05	0.78	0.61
731V2	0.55	2.37	731V2	-0.50	-1.55	1.83	2.82	3.68	0.12	0.76	0.80	2.65	-0.90	0.36	0.73
734JDV	0.55	2.65	734JDV	1.00	-0.93	2.32	2.80	1.67	0.03	2.18	0.48	1.95	-1.89	1.65	-0.62

B) Relations cernes / Précipitation moyenne mensuelle

POP	R2	RMV/s	POP	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
838JL	0.21	-1.00	838JL	-0.02	-0.49	0.18	0.18	0.59	1.45	0.55	1.11	0.29	-0.01	0.14	0.27
720VL	0.23	-0.94	720VL	-0.60	-0.16	-0.16	0.35	-0.49	-0.05	0.03	-0.78	-0.79	-0.24	-0.98	-0.17
826JL	0.25	-1.05	826JL	1.24	-0.35	-0.10	0.20	-0.23	-0.60	1.54	1.10	-0.67	0.77	0.13	-0.51
833JL	0.25	-1.32	833JL	-0.63	-0.28	0.72	0.66	0.44	0.67	0.10	-0.39	0.18	0.11	1.09	1.29
826JL	0.26	-1.10	826JL	1.14	-0.35	-0.11	0.10	-0.21	-0.56	1.62	1.05	-0.63	0.78	0.19	-0.50
827M2	0.28	-0.60	827M2	-0.12	-0.17	0.44	0.91	0.03	0.78	1.69	1.04	0.96	0.30	0.40	-0.07
731V2	0.34	0.26	731V2	-0.23	-1.49	2.08	-0.24	0.88	-0.49	0.42	-0.85	-0.71	0.97	-0.22	-2.21
732JL	0.34	-0.10	732JL	0.93	-1.14	2.06	-1.14	0.13	-1.45	-0.45	0.57	-1.25	1.22	0.75	0.84
733V	0.34	0.11	733V	-0.17	-1.22	2.00	-1.42	0.25	0.01	-1.32	-0.44	-1.04	1.24	0.31	-0.28
714V2	0.35	-0.36	714V2	1.33	-1.08	1.06	0.39	-0.36	-1.00	-1.12	0.83	-0.84	1.26	0.73	-0.68
743J1	0.35	-0.07	743J1	1.59	0.32	2.31	-0.65	0.61	0.22	-0.59	0.65	-1.26	0.78	-1.31	1.60
712D1	0.36	0.30	712D1	1.34	-1.68	0.55	-0.71	1.02	-1.08	-1.97	-0.71	-1.52	0.19	-1.11	0.19
730D2	0.37	0.91	730D2	0.79	-0.04	2.49	0.49	0.24	-0.07	-1.07	-0.58	-0.48	0.35	-1.48	-2.88
730V2	0.38	0.39	730V2	0.60	1.04	0.95	2.10	-1.33	1.51	-0.18	1.02	-0.04	0.14	0.52	-0.02
743J2	0.38	0.22	743J2	-0.84	-0.27	-0.12	-0.32	0.14	0.76	-0.73	2.40	-1.85	-0.33	-2.66	-0.58
725V2	0.39	0.53	725V2	-0.40	-0.80	0.51	0.47	-1.20	-0.18	-0.62	-0.55	-2.14	-2.24	-1.25	-1.83
734JDV	0.40	0.22	734JDV	-1.63	-0.63	1.40	0.31	0.26	0.80	-1.15	-1.12	-1.33	1.49	0.87	-0.40
79DJV	0.41	0.58	79DJV	2.06	0.90	0.35	-1.18	-0.67	-0.69	-2.36	-1.60	-1.17	0.62	-0.23	2.14
713V1	0.43	0.60	713V1	1.00	0.29	0.40	1.95	-2.04	1.44	0.71	1.53	-2.29	0.44	-0.83	0.74
836ML	0.43	0.20	836ML	-0.49	-0.26	-0.37	0.25	0.29	1.20	-1.97	-3.38	0.34	0.35	-1.83	0.91
733D1	0.43	0.52	733D1	-1.64	0.13	0.93	-1.57	-0.99	-1.20	-2.96	-0.52	-1.46	-0.21	0.47	0.04
839J3	0.44	-0.01	839J3	0.30	-1.48	-0.06	0.08	-1.26	-0.03	2.10	0.31	-0.03	-0.92	1.55	1.18
711D1	0.45	0.64	711D1	0.24	-1.45	-0.98	-0.94	-0.26	0.58	-0.84	-3.07	-2.20	-1.60	0.19	1.08
727JL	0.49	1.01	727JL	-0.16	-1.95	1.56	-0.22	-0.98	-1.12	-0.82	1.16	-2.41	0.28	-1.44	-1.05

C) Relations cernes / Précipitation neigeuse moyenne mensuelle

POP	R2	RMV/s	POP	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
720VL	0.21	-1.06	720VL	0.39	-0.46	-0.16	0.61	-0.47	-0.49	0.19	-0.61	-1.61
833JL	0.22	-0.71	833JL	0.37	-0.65	0.10	0.91	0.19	0.52	0.25	-1.44	1.94
732JL	0.23	-0.57	732JL	1.01	0.10	1.11	-0.89	-0.59	-0.85	-0.19	0.04	-1.63
731V2	0.25	-0.17	731V2	0.35	-1.49	1.30	0.02	1.09	-0.73	-0.02	-1.55	-1.61
743J2	0.25	-0.68	743J2	-0.66	-1.17	0.43	-0.68	0.14	0.86	-0.55	1.71	-0.39
743J1	0.26	-0.50	743J1	-1.45	0.57	0.94	-1.33	-0.02	0.96	-0.21	1.09	-1.17
725V2	0.26	-0.10	725V2	-0.80	-1.69	0.32	0.29	-1.22	-0.27	-1.75	-0.37	-0.38
712D1	0.27	0.13	712D1	1.27	0.62	1.73	-0.17	0.25	-0.61	-1.15	0.05	-1.74
711D1	0.27	0.15	711D1	0.21	0.46	0.24	-0.08	-0.09	0.85	-1.09	-2.75	-0.22
836ML	0.30	0.08	836ML	0.70	-0.83	0.01	0.93	0.91	0.83	-1.37	2.00	-0.61
838JL	0.30	0.86	838JL	2.01	-0.99	-0.65	0.81	0.64	1.49	0.36	0.08	2.75
730D2	0.31	-0.51	730D2	-1.86	-0.62	0.39	0.64	0.98	0.10	-0.78	-0.03	-0.64
79DJV	0.36	0.16	79DJV	1.46	0.11	0.17	-1.29	0.26	-0.79	-1.64	-1.85	0.45
730V2	0.36	-0.36	730V2	-0.35	0.40	-0.33	2.14	-1.00	2.02	0.10	0.78	0.12
714V2	0.38	-0.14	714V2	-1.06	-0.14	-0.94	-0.66	-1.09	-0.23	-0.87	1.12	-1.97
727JL	0.39	0.33	727JL	-1.05	-2.83	0.65	-0.20	-1.10	-1.62	-1.51	0.71	-0.63
713V1	0.39	0.33	713V1	-0.47	-1.43	-1.13	1.69	-1.81	1.07	0.59	0.92	-1.53
733D1	0.40	0.76	733D1	0.24	-0.59	0.46	-1.14	-0.99	-1.60	-2.86	-1.10	-0.34
734JDV	0.43	0.33	734JDV	-0.61	-1.77	-0.40	1.42	0.35	0.76	-1.43	-0.68	-1.53
839J3	0.45	0.54	839J3	1.83	-0.47	-1.99	-0.01	-1.95	0.38	1.63	-1.28	1.60

Dans le cas de la relation croissance et température (Tableau 6), on observe un premier groupe relativement important 7-31V2, 7-32J1, 7-34JDV1, 7-33D1, 7-20V1, 7-25V2, et 8-27M2 qui réagit positivement aux températures d'hiver. Un second groupe, 7-31V2, 7-32J1, 7-14V2 et 7-43J2 semble plus sensible, de façon inverse, aux températures automnales. Et un troisième et dernier groupe essentiellement composé des populations du Labrador, soit les plus à l'est ; 8-26J1, 8-27M2, 8-33J1, 8-38J1 et 8-39J3, mais aussi des populations 7-13V1, 7-34JDV1, sont sensibles aux températures de l'été. Dans leur cas, la croissance est favorisée par des températures estivales élevées. À noter que 7-33 D1 qui est élevé en altitude, témoigne d'arbres sensibles aux températures de l'hiver.

En ce qui concerne les résultats des fonctions de réponses dans la relation croissance des arbres et précipitations (pluie et de neige), on observe là encore trois groupes (Tableau 7). Les groupes sont par contre moins homogènes et la cohérence des résultats n'est pas évidente, puisqu'on trouve des valeurs positives et d'autres négatives pour les mêmes périodes rendant ainsi les interprétations hasardeuses.

Un premier groupe semble réagir davantage aux précipitations nivales des mois de décembre à février (8-33J1, 8-36M1, 8-38J1 et 7-34JDV1), soit essentiellement les populations labradorienne de la façade océanique. La croissance de ces arbres a été plus rapide comparativement à celle des arbres poussant à des endroits où il neige moins au cœur de l'hiver. Ce pourrait être un cas de protection contre le gel excessif grâce à l'enfouissement dans la neige. Un deuxième groupe, composé de populations maritimes et de populations d'altitude (900m), semble réagir davantage aux précipitations de mars à mai (7-11D1, 7-09DJV1, 8-39J3, 7-33D1 et 7-34JDV1). Plus il y a de chutes de neige au printemps et moins leur croissance est bonne. Il pourrait s'agir dans ce cas d'un retard dans l'initiation de la croissance annuelle. Enfin le troisième groupe, à proximité du réservoir Manicouagan, semble réagir à l'abondance des précipitations de juillet et d'août (7-27J1, 7-25V2, 7-31V2, 7-30D2 et 7-43J2). Plus il y a de pluie au cœur de l'été et plus leur croissance est ralentie. Dans ce cas, on peut supposer que l'ensoleillement puisse être réduit à un moment crucial de la saison de croissance.

À noter que la population 8-39J3 (Monts Mealy), la plus haute en altitude du groupe Labrador réagit positivement aux précipitations du printemps et de l'été. On remarque également que les deux sites situés près du Réservoir Smallwood (8-27M2 et 8-26J1), l'endroit le plus neigeux du Canada ne réagissent pas aux précipitations de neige ou de pluie (bonne protection hivernale, ensoleillement important l'été), en revanche, ils réagissent positivement aux températures de juillet (bonnes conditions de croissance à une période critique).

Ainsi les résultats, bien que souvent peu significatifs, montrent certaines affinités régionales entre les sites en terme de comportement vis à vis du climat. Par exemple, les populations du Labrador seraient plus sensibles aux températures de l'été (saison de croissance la plus courte), tandis que les populations du plateau central du Nouveau-Québec sont plus sensibles aux températures hivernales (risque accru de gel profond). On peut d'ailleurs noter que ces populations rejoignent dans leur comportement les populations de l'amont du complexe LaGrande (LG4 à Caniapiscau) étudiées dans le cadre du projet ARCHIVES.

On retrouve d'ailleurs des groupes de populations déjà mis en évidence par l'analyse de classification hiérarchique.

Les fonctions de réponse aux températures de plusieurs sites deviennent significatives grâce au regroupement de variables. On retrouve la cohérence déjà montrée avec les 12 mois. Cette nouvelle analyse confirme le rôle des températures hivernales de décembre et janvier pour plusieurs sites et des températures estivales (mois de juillet pour d'autres sites). Cependant, les températures n'expliquent jamais plus de 44 % (valeur maximale pour le site 7-31V2) des variations de croissance. Les fonctions de réponse aux précipitations montrent peu de cohérence et ne sont jamais significatives. Ceci tend à démontrer leur rôle mineur dans les variations interannuelles de croissance de l'épinette.

Tableau 6 : Fonctions de réponse, relation cernes et précipitations de neige et de pluie pour les mois d'octobre à février, de mars à avril, mai à juin et juillet à août.

POP	RMC	RMV	R2	RMV/s	POP	SOMoy	NDJmoy	TMai	TJuillet
7-09DJV1	0.24	-0.29	0.06	-1.47	7-09DJV1	-0.01	-0.27	-0.49	0.93
7-43J1	0.29	-0.21	0.08	-0.95	7-43J1	-0.44	-0.55	1.18	-0.62
7-27J1	0.32	-0.15	0.10	-0.59	7-27J1	0.35	0.71	0.86	1.12
7-33D1	0.32	-0.15	0.10	-0.62	7-33D1	-0.57	0.57	1.35	-0.78
7-11D1	0.32	-0.04	0.10	-0.19	7-11D1	0.75	1.04	1.21	-0.61
7-14V2	0.36	0.10	0.13	0.44	7-14V2	-3.11	0.81	1.02	0.06
8-36M1	0.37	-0.03	0.14	-0.14	8-36M1	0.91	1.37	1.05	0.29
7-20V1	0.38	0.12	0.14	0.48	7-20V1	-1.18	2.14	0.73	-0.28
7-30D2	0.38	0.17	0.15	0.60	7-30D2	1.42	1.44	-1.10	0.85
7-12D1	0.38	-0.07	0.15	-0.32	7-12D1	-2.20	0.42	0.19	-0.50
8-39J3	0.39	0.08	0.15	0.29	8-39J3	-1.12	0.38	0.10	2.27
7-13V1	0.40	0.10	0.16	0.44	7-13V1	1.54	-1.28	-0.52	2.36
8-26J1	0.40	0.15	0.16	0.63	8-26J1	-0.29	0.30	1.40	2.73
7-43J2	0.43	0.08	0.18	0.32	7-43J2	1.86	-0.29	2.45	-0.52
8-38J1	0.45	0.24	0.20	1.02	8-38J1	0.49	0.30	0.06	3.81
8-27M2	0.46	0.26	0.21	1.07	8-27M2	0.41	1.83	-0.27	2.66
7-25V2	0.48	0.29	0.23	1.19	7-25V2	0.53	2.84	1.11	0.69
7-33V	0.48	0.23	0.23	0.92	7-33V	-1.41	2.75	1.43	-1.66
7-32J1	0.53	0.37	0.28	1.77	7-32J1	-6.16	2.40	1.75	-1.34
8-33J1	0.54	0.26	0.29	1.19	8-33J1	0.01	0.73	0.26	5.40
7-30V2	0.56	0.41	0.31	1.94	7-30V2	-0.48	5.64	1.06	1.49
7-34JDV1	0.58	0.46	0.33	3.22	7-34JDV1	-0.08	5.57	2.73	1.73
7-31V2	0.67	0.53	0.44	3.77	7-31V2	-1.69	8.01	3.81	0.07

Tableau 7 : Fonctions de réponses relation cernes et températures de septembre à octobre, de novembre à janvier, mai et juillet. Les résultats significatifs sont surlignés.

POP	RMC	RMV	R2	RMV/s	POP	NSOND	NDJF	NMAM	PMJ	PJA
7-43J1	0.29	-0.32	0.09	-1.66	7-43J1	0.63	-0.37	0.95	-0.38	-0.30
8-26J1	0.31	-0.18	0.10	-0.81	8-26J1	-1.22	0.28	1.27	-0.05	0.40
7-13V1	0.33	-0.20	0.11	-0.82	7-13V1	-0.40	0.75	0.50	-1.31	0.00
7-14V2	0.34	-0.21	0.11	-1.01	7-14V2	0.22	-0.58	-0.78	0.10	0.18
7-20V1	0.35	-0.29	0.12	-1.23	7-20V1	0.47	-0.20	-0.53	-0.51	-0.83
8-33J1	0.36	-0.05	0.13	-0.27	8-33J1	-0.05	2.10	-0.30	0.30	2.14
7-33V	0.36	-0.10	0.13	-0.44	7-33V	-1.14	-0.19	-1.01	0.86	0.19
8-36M1	0.36	-0.12	0.13	-0.55	8-36M1	-0.64	2.17	-0.75	1.08	0.36
8-38J1	0.37	0.01	0.14	0.06	8-38J1	-0.77	1.79	1.18	-0.08	0.45
7-30V2	0.38	-0.05	0.14	-0.21	7-30V2	0.54	0.94	-0.06	-0.25	0.61
7-32J1	0.39	-0.09	0.15	-0.45	7-32J1	0.30	-0.84	-0.64	0.29	1.24
7-31V2	0.39	0.09	0.16	0.37	7-31V2	-0.05	0.73	-1.59	1.76	-2.32
7-43J2	0.41	0.17	0.16	0.71	7-43J2	-0.54	-0.07	1.21	-1.84	-1.97
7-12D1	0.41	0.02	0.17	0.10	7-12D1	1.64	-0.86	-0.71	-0.99	-1.02
8-27M2	0.42	0.07	0.18	0.32	8-27M2	-1.09	1.46	1.52	0.64	1.26
7-09DJV1	0.44	0.01	0.20	0.07	7-09DJV1	-0.38	-1.30	-2.23	-1.01	0.29
7-11D1	0.48	0.06	0.23	0.29	7-11D1	-0.20	0.02	-3.23	-2.62	0.18
7-34JDV1	0.48	0.27	0.23	1.07	7-34JDV1	-0.52	2.20	-2.71	1.09	0.70
7-30D2	0.49	0.24	0.24	1.13	7-30D2	0.65	0.52	-0.74	0.04	-3.54
8-39J3	0.51	0.20	0.26	0.71	8-39J3	-0.93	-0.31	2.18	-1.30	2.76
7-25V2	0.52	0.21	0.27	0.87	7-25V2	0.68	-0.65	-1.14	-2.90	-2.24
7-27J1	0.53	0.11	0.28	0.41	7-27J1	0.24	-1.00	-0.33	-1.18	-2.68
7-33D1	0.59	0.22	0.35	1.18	7-33D1	-0.24	-0.96	-3.14	-0.92	0.54

5. Conclusion

Cette étude a porté sur l'analyse de croissance de populations d'épinettes noires généralement jeunes, en moyenne 130 ans, couvrant un large territoire compris entre Baie Comeau sur la Moyenne Côte-Nord (entre 58°67 et 70°475 Ouest) et Rigolet sur la côte du Labrador (49°325 et 53°64 Nord), et qui présentent des altitudes variant de 20 m à plus de 1000 mètres. La caractérisation spatiale basée sur les affinités entre les séries dendrochronologiques, soit la cohérence dans la relation cerne/ température des peuplements, semble s'articuler autour de trois régions biogéographiques distinctes ; les populations méridionales maritimes, les populations du plateau central du Nouveau-Québec et les populations septentrionales labradoriennes. Cette étude montre une variabilité inter-peuplement liée principalement aux facteurs géographiques latitude et longitude (la température indirectement) et aussi de moindre mesure à l'âge. La différence de comportement vis-à-vis du climat des sites étudiés laisse supposer que ces peuplements pourraient être susceptibles de répondre différemment aux changements climatiques, ce qui peut avoir une incidence sur la nidification des oiseaux, soit directement par leur acclimatation différentielle à la température ou bien indirectement par la conséquence qu'ont les extrêmes climatiques sur la disponibilité de la nourriture pour nourrir leurs nichées.

6. Références

- Briffa K. R., P. D. Jones, T. S. Bartholin, D. Eckstein, F. H. Schweingruber, W. Karlén, P. Zetterberg & M. Eronen, 1992. Fennoscandian summers from AD 500: Temperature changes on short and long timescales. *Climate Dynamics*, 7: 111-119.
- Cook E. R. & K. Peters, 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, 41: 45-53.
- Cook E. R., 1985. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Thèse de doctorat, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Efron B. 1979: Bootstrap methods: another look at the jackknife *The Annals of Statistics*, 1-26.
- McKenney D.W., M.F. Hutchinson, J.L. Kesteven & L.A. Venier, 2001. Canada's plant hardiness zones revisited using modern climate interpolation techniques. *Canadian Journal of Plant Science* 81: 129-143.
- Meunier C. & J-L. DesGranges, 2007. Influence des gradients latitudinaux et altitudinaux sur la croissance et la fertilité de l'épinette noire. Rapport technique préparé pour le compte d'environnement Canada, Division de la recherche faunique et paysagère.
- Newhall C. G. & S. Self, 1982. The Volcanic Explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude of historic eruptions. *J. Geophys. Res.*, 87: 1231-1238.
- NOAA 2005 :
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering/cofecha/userguide.html#intercorrelation>
- Simpson R. & D. Coy, 1999. Atlas écologique de la défoliation causée par les insectes forestiers au Canada de 1980 à 1996. Rapport d'information M-X-206. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie de l'Atlantique. Fredericton (Nouveau-Brunswick).
- Tapsoba D., V. Fortin, F. Anctil & M. Haché, 2005. Apport de la technique du krigeage avec dérive externe pour une cartographie raisonnée de l'équivalent en eau de la neige : Application aux bassins de la rivière Gatineau. *Rev. can. génie cave./Can. J. Cave. Eng.* 32(1): 289-297.

Till, C. & J. Guiot, 1990. Reconstruction of precipitation in Morocco since A D 1100 based on *Cedrus Atlantica* tree-ring widths. *Quaternary Research*, 33: 337-351.

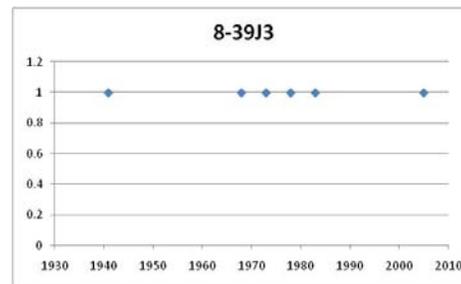
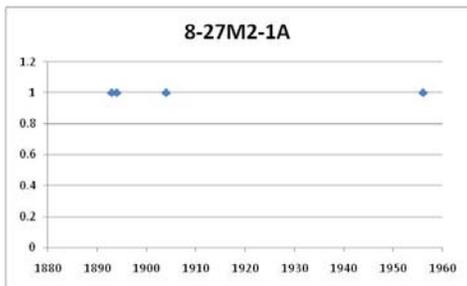
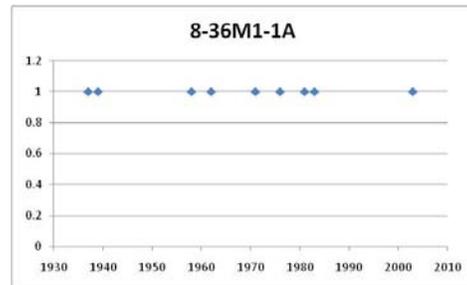
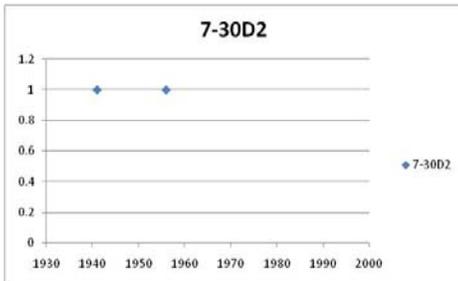
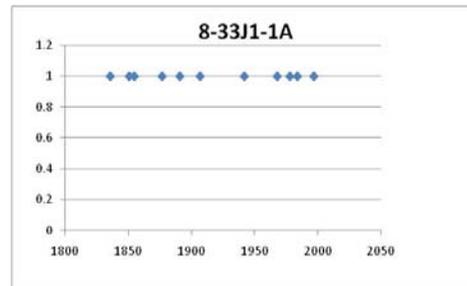
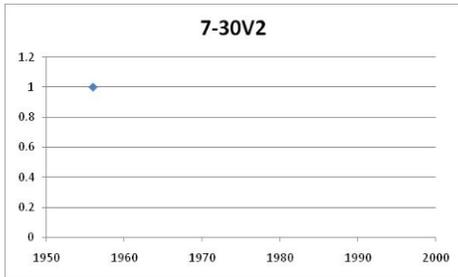
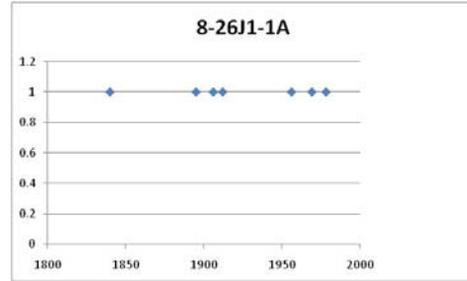
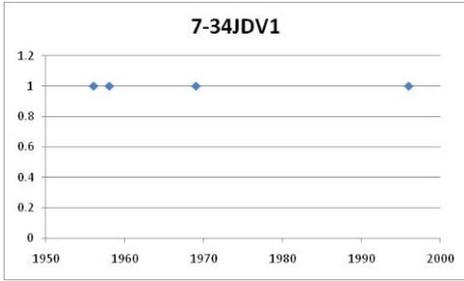
Wackernagel H., 1998. *Multivariate Geostatistics: an Introduction with Applications*. 2nd ed. Springer, Berlin.

7. Appendices

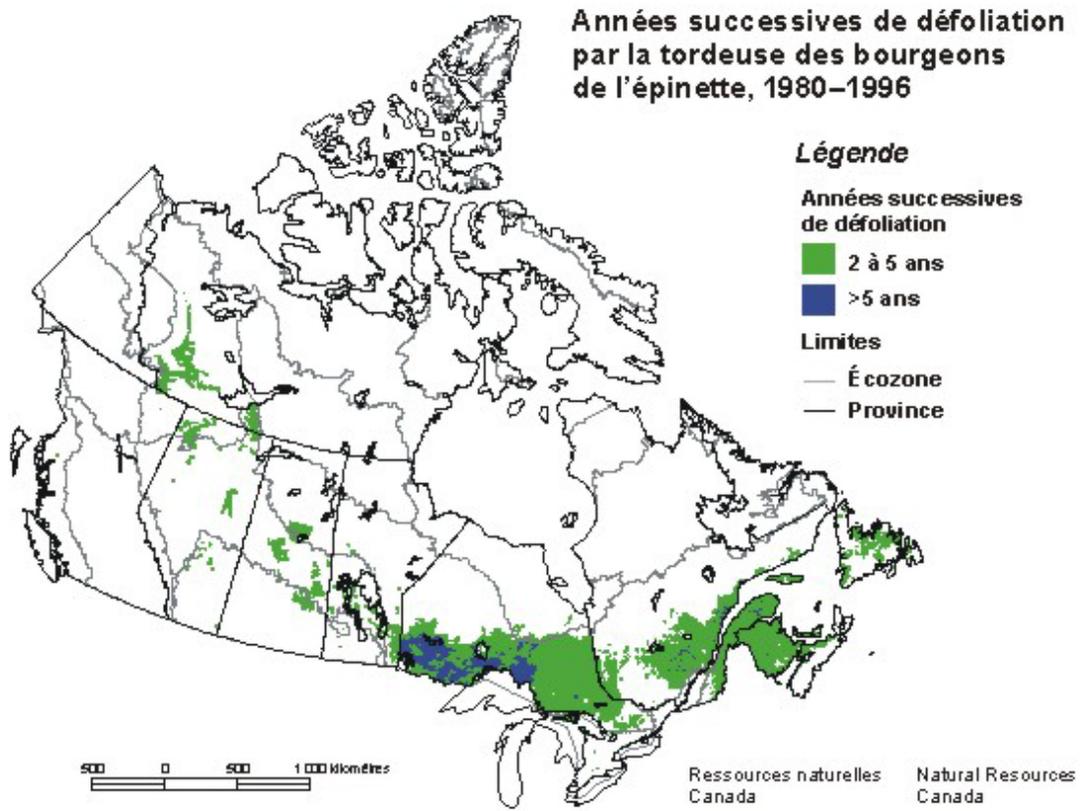
Parcelles Dates	Situation géographique	Longitude O	Latitude N	altitude (m)	Écozone	Écorégion
7-09DJV1	Rivière Godbout	67.63	49.32	14	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-11D1	Port-Cartier	66.98	49.94	36	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-13J1	Rivière Dominique	66.8	50.05	44	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-12D1	Pte rivière aux Couleuv	67.42	50.25	320	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-14V2	Lac à Toi	67	50.77	519	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-43J2	montagne nord Sept-Île	66.28	50.86	935	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-33V1	Mont Babel	65.46	50.98	924	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-33V2	Mont Babel	68.7	51.43	899	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-33D1	Monts Groulx	68.09	51.55	905	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-33V3	Mont Babel	66.28	50.86	805	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-43J1	Mont Joseph	65.46	50.98	781	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-32J1	Réservoir Manicouagan	68.35	51.11	382	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-20V1	Camp forestier Arbec	67.74	51.08	341	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-27J1	Monts Groulx	68.23	51.62	513	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-25V2	Camp forestier Arbec	67.5	51.05	488	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-31V2	Rivière Hart-jaune	68.01	51.76	403	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-30D2	Rivière Cassée	67.25	52.81	715	Bouclier boréal	Plateau central N-Q
7-34JDV1	Monts Otish	70.48	52.31	923	Bouclier boréal	Centre des Laurentides
7-30V2	Monts Severson	67.14	52.79	635	Bouclier boréal	Plateau central N-Q
8-27M2	Chûte Churchill	64.31	53.6	410	Taïga du Bouclier	Réservoir Smallwood
8-26J1	Réservoir Smallwood	63.68	53.64	513	Taïga du Bouclier	Réservoir Smallwood
8-36M1	Rigolet	58.5	54.13	23.2	Bouclier boréal	Lac Melville
8-38J1	Grand Lake	60.75	53.64	150	Bouclier boréal	Lac Melville
8-39J3	Monts Mealy	58.67	53.48	571	Taïga du Bouclier	Monts Mealy
8-33J1	Rivière Traverspine	60.48	53	301	Taïga du Bouclier	Monts Mealy

Parcelles Dates	Association végétale	Unité homogène de Grondin	Habitat physiognomique	Zone de rusticité	Rq rusticité	strate arborée (%)	strate arbustive (%)	EPN arboré (%)	EPN arbustif (%)	EPB arboré (%)	SAB arboré (%)	SAB arbustif (%)	arbres feuillus (%)
7-09DJV1	PNSB	ME5	CH	3a	5	75	30	55	20	0	15	10	0
7-11D1	PNMo	ME7B	CH	3a	5	70	15	60	13	0	10	5	0
7-13J1	PNMo	ME7B	CH	3a	5	90	10	65	7	0	20	3	5
7-12D1	PNMo	RE1Am	CH	1b	4	70	20	60	15	0	10	20	0
7-14V2	PNMo	RE4Am	CH	1b	4	75	15	60	10	0	5	5	5
7-43J2	PNMo	RE4Am	CH	1b	4	40	25	20	5	5	15	5	0
7-33V1	PNPB	RE4Am	C	1b	4	40	35	25	25	10	5	10	0
7-33V2	PBSB	RE6A	AH	0b	2	35	50	5	0	10	20	30	5
7-33D1	PBSB	RE7	CH	0b	2	50	25	2	0	35	15	5	1
7-33V3	PBSB	RE4Am	CH	1b	4	45	35	5	1	20	20	10	0
7-43J1	PNMo	RE4Am	AH	1b	4	30	45	20	25	0	8	15	5
7-32J1	PNMo	RE6B	CH	1a	3	60	25	60	20	0	5	5	1
7-20V1	PNMo	RE6B	CH	0b	2	70	20	60	15	0	5	5	0
7-27J1	PNMo	RE6A	CH	1a	3	90	10	60	2	0	20	7	5
7-25V2	PNMo	RE6B	CH	0b	2	80	15	70	8	0	5	3	0
7-31V2	PNML	RE6A	ARH	1a	3	60	25	55	17	0	0	0	0
7-30D2	PNML	RC1B	CH	0b	2	40	20	35	10	0	0	0	0
7-34JDV1	PBSB	RC1B	CH	0b	2	45	55	5	0	30	10	5	0
7-30V2	PNML	RC1B	AH	0b	2	30	45	30	20	0	0	0	0
8-27M2	PNMo	RC1C	CH	0a	1	60	35	60	20	0	0	10	0
8-26J1	PNMo	RC1C	CH	0a	1	60	20	60	20	0	0	0	0
8-36M1	PNSB	RC1C	CH	0a	1	70	20	35	4	0	30	10	5
8-38J1	PNLi	RC1C	C	0a	1	40	20	35	15	0	3	2	0
8-39J3	PNSB	RC1C	ARH	0a	1	30	50	20	40	0	10	10	0
8-33J1	PNSB	RC1C	CH	0a	1	55	35	40	10	0	15	20	0

Appendices 1 et 2 : Stations dendroécologiques_Inventaires ornithologiques_ PESSIÈRES NOIRES BORÉALES 2007 à 2009_ Jean-Luc DesGranges



Appendice 3: Cernes pâles/population/année. On observe une grande variation en nombre de cernes entre les populations Labradorienne et celles les plus à l'ouest.



Appendice 4 : Années successives de défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, 1980–1996