

Biodiversité de la flore vasculaire et invasculaire de la Baie James et évaluation de leurs vulnérabilités face aux changements climatiques

Rapport final

Présenté à Ouranos

Par

Maryse Marchand

Nicole Fenton

Yves Bergeron

Francine Tremblay

Institut de recherche sur les forêts
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Juin 2013

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres



RÉSUMÉ

Dans ce projet nous visons à mieux comprendre comment les facteurs climatiques et les caractéristiques d'habitat influencent la répartition actuelle de la flore vasculaire et invasculaire des écosystèmes nordiques afin de mieux évaluer l'impact des changements climatiques sur leur distribution future. Plus spécifiquement nous visons à : 1) mettre à jour, à partir des données existantes, une base de données taxonomiques numérisées de la flore vasculaire et invasculaire du territoire de la Baie James; 2) évaluer l'impact du gradient climatique sur la richesse actuelle de la flore vasculaire-invasculaire des écosystèmes terrestres du territoire de la Baie James; 3) identifier les espèces clés potentiellement vulnérables aux changements climatiques; 4) modéliser à l'aide des scénarios climatiques du MRCC la distribution future d'espèces clés dont la distribution actuelle est liée au gradient climatique. Nous avons procédé à la numérisation des données sur la distribution des espèces vasculaires et invasculaires à partir des inventaires qui ont été réalisés sur le territoire de la Baie James et les données d'inventaires écologiques du MRN récoltées au sud et au nord de la limite nordique de la forêt commerciale. L'analyse de la distribution des espèces en fonction des variables climatiques démontre que, parmi les espèces répertoriées, huit atteignent leur limite sud et 65 leur limite nord à l'intérieur du territoire de la Baie James. Nos résultats indiquent que la richesse des strates répond simultanément au climat, principalement les précipitations, et à l'intervalle de retour des perturbations naturelles. La distribution des espèces sous divers scénarios climatiques montre une augmentation de la flore vasculaire au nord et une baisse de la flore invasculaire (lichens). Globalement nos résultats ont montré que la richesse en espèces sur les territoires nordiques serait affectée à la fois par l'impact direct du climat et l'impact indirect du climat sur le régime des perturbations (cycle de feu).

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES.....	5
INTRODUCTION	6
1. MÉTHODES	8
1.1 Site d'étude : Eeyou Istchee Baie James	8
1.2 Données d'habitat et de végétation.....	9
1.3 Données climatiques	10
1.4 Analyses des données.....	11
2. RÉSULTATS ET DISCUSSION	15
2.1 Climat de la zone à l'étude	15
2.2 Relation entre la richesse en espèces et les caractéristiques du climat et d'habitat	15
2.3 Changements dans la richesse en espèces dans un climat futur	16
2.4 Changements dans la distribution des espèces dans un climat futur	17
CONCLUSION	18
RÉFÉRENCES	21
TABLEAUX	23
FIGURES	25
ANNEXES.....	33

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Valeurs minimales et maximales (nb. d'espèces) des richesses observées et prédites, paramètre de dispersion, déviance expliquée et coefficient de corrélation entre les données observées dans le jeu de validation et celles prédites par le modèle pour chacune des strates..... 23
- Tableau 2 : Variation maximale en richesse prédite pour chaque variable divisée par la variation maximale observée. Exprimé sous forme de pourcentage, ce calcul reflète l'importance de chacune des variables. Les interactions entre les précipitations et les températures maximales n'ont pas pu être prises en compte dans ces calculs. Les chiffres en caractères gras indiquent les différences jugées biologiquement significatives ($\geq 10\%$) 24

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Répartition géographique de la richesse (nb. d'espèces) des plantes vasculaires (A), des bryophytes (B) et des lichens (C)..... 25
- Figure 2 : Prédiction de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec les précipitations totales annuelles (mm) et la température maximale. Trois courbes sont illustrées, soit la relation avec la plus haute température quotidienne maximale, la moyenne température quotidienne maximale et la plus basse température quotidienne maximale..... 26
- Figure 3 : Prédiction de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec la température maximale et les précipitations totales annuelles (mm). Trois courbes sont illustrées, soit la relation avec la précipitation quotidienne maximale, la précipitation moyenne quotidienne et la précipitation minimale quotidienne..... 27
- Figure 4 : Prédiction de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec l'intervalle entre les feux (années)..... 28
- Figure 5a : Relation entre la richesse (nb. d'espèces) des différentes strates des plantes vasculaires et le dépôt-drainage. Les arbres sont indiqués par les cercles, les arbustes par les étoiles, les herbacées par les carrés, les fougères par les triangles, les plantes vasculaires par les losanges..... 29
- Figure 5b : Relation entre la richesse (nb. d'espèces) des différentes strates des invasculaires et le dépôt-drainage. Les bryophytes sont indiqués par les carrés, les lichens par les triangles et les plantes invasculaires par les cercles..... 30
- Figure 6 : Cartes des changements (nb. d'espèces : Δ) de la richesse des différentes strates vasculaires dans un climat futur (high)..... 31
- Figure 7 : Cartes des changements (nb. d'espèces : Δ) de la richesse des différentes strates non-vasculaires dans un climat futur (high)..... 32

INTRODUCTION

Le climat actuel de la planète se réchauffe, majoritairement en raison de l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre (GES) émis par l'activité humaine (IPCC, 2007). Depuis 1850, les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et d'oxyde d'azote (N₂O) ne cessent d'augmenter, dépassant les taux enregistrés depuis plus de 850 000 ans (Raynaud *et al.*, 2002; Luthi *et al.*, 2008). Ces GES sont responsables de l'augmentation des températures superficielles planétaires de 0,74°C entre 1906 et 2005. Les températures de surface devraient connaître un accroissement se situant entre 1,1 et 6,4°C d'ici la fin du 21ème siècle (IPCC, 2007). Selon les scénarios les plus pessimistes, les conséquences à long terme du changement climatique sur la composition, la structure et le fonctionnement des écosystèmes naturels, apparaissent inévitables et importantes (IPCC, 2007).

Des travaux mettent en évidence que dans les zones nordiques, on observe d'ores et déjà des effets du changement climatique, avec une restructuration notamment spatiale des communautés (Lloyd et Fastie, 2003; Caccianiga et Payette, 2006). Les forêts boréales pourraient se déplacer dans la toundra, elles-mêmes remplacées par les forêts tempérées et les prairies (Neilson *et al.*, 2005). Les changements géographiques impliquent des modifications dans le bilan de carbone de la Terre ce qui aura des conséquences sur le climat (King et Neilson, 1992). De nombreux processus tels que la physiologie et la phénologie des plantes (Keeling *et al.*, 1996; Myneni *et al.*, 1997), ainsi que le régime des perturbations naturelles (Schumacher et Bugmann, 2006) seront bouleversés. Il devient donc important de connaître les aires de répartition actuelles des espèces végétales et d'évaluer leurs évolutions futures pour la mise en place de politiques de conservation de la biodiversité efficaces et efficientes.

De nombreuses méthodes, comme les modèles d'enveloppe bioclimatique, ont été déployées pour étudier la distribution des espèces et prévoir l'évolution potentielle résultant des changements climatiques (Thuiller *et al.*, 2006 ; Huntley *et al.*, 2008). Ces modèles dont la robustesse générale a été démontrée (Hijmans et Graham, 2006) et qui donnent une certaine idée des possibles impacts des changements climatiques (Huntley *et al.*, 2008 ; Coetzee *et al.*, 2009), laissent cependant apparaître un nombre important de limites.

Huntley *et al.*, (2010) proposent une nouvelle génération de modèles entièrement intégrés prenant en compte les conditions climatiques, la disponibilité de l'habitat et la dynamique de la population et la dispersion. En effet, les facteurs de l'environnement qui déterminent les aires de distribution des végétaux sont multiples. Leurs exigences écologiques fondamentales sont de natures climatiques (lumière, température, eau, vent,...) et édaphiques (texture du sol, pH, type, de sol etc...). Cependant, d'autres facteurs biotiques, tels que la présence d'animaux ou de végétaux, et anthropiques agissent également sur les aires de répartition des plantes.

Nous visons à mieux comprendre comment les facteurs climatiques influencent la répartition actuelle de la flore vasculaire et invasculaire des écosystèmes nordiques afin de mieux évaluer l'impact des changements climatiques sur leur distribution future. Plus spécifiquement nous visons à : 1) mettre à jour, à partir des données existantes, une base de données taxonomiques numérisée des flores vasculaire et invasculaire du territoire de la Baie James; 2) évaluer l'impact du gradient climatique sur la richesse actuelle des flores vasculaires-invasculaires des écosystèmes terrestres du territoire de la Baie James; 3) identifier les espèces clés potentiellement vulnérables aux changements climatiques; 4) modéliser à l'aide des scénarios climatiques du MRCC la distribution future d'espèces clés dont la distribution actuelle est liée au gradient climatique.

Nous proposons le développement de modèles qui sont basés sur les modules d'aptitude climatique et de disponibilité de l'habitat. Le module d'aptitude climatique est basé sur les corrélations observées entre l'aire actuelle de répartition d'une espèce et le climat actuel selon l'hypothèse que cette aire soit approximativement en équilibre. Les variables utilisées ne seront pas obligatoirement celles enregistrées par les stations météorologiques, mais pourront découler de celles-ci. Elles devront avoir un impact direct ou indirect sur les limites des intervalles de préférence des espèces. Les résultats de ce module seront des enveloppes climatiques. Le module de disponibilité de l'habitat repose, quant à lui, sur les mêmes bases et hypothèses que celles faites pour le module précédent.

Le territoire Eeyou-Itschee Baie James inclut deux domaines biogéoclimatiques (pessière à mousse et pessière à lichens) où de nombreux inventaires ont été réalisés. La fusion des données d'inventaire (Jurdant et points d'observations écologiques) permet la création d'une méta-base de plus 10 000 points d'observation. Le nombre élevé de données disponibles

permet l'utilisation de modèles plus réalistes et fiables (Barry et Elith, 2006) tout en évitant le sur-ajustement (Araújo et Guisan, 2006).

1. MÉTHODES

1.1 Site d'étude : Eeyou Istchee Baie James

La Jamésie s'étend du 49^{ème} au 55^{ème} parallèle et couvre près de 350 000 km² allant de la Baie James et l'Ontario à l'ouest aux monts Otish à l'est. Cet immense territoire est habité par environ 17 000 allochtones qui résident pour la plupart dans cinq municipalités (Chapais, Chibougamau, Lebel-sur-Quévillon, Matagami et Baie-James) et quatre localités (Radisson, Val-Paradis, Beaucanton et Villebois). 13 000 autochtones de la communauté des Cris d'Eeyou Istchee sont également répartis dans neuf communautés dont cinq se trouvent le long du littoral : Waskaganish, Eastmain, Wemindji, Chisasibi et Whapmagoostui et les quatre autres sont établies à l'intérieur des terres (Mistissini, Nemiscau, Oujé-Bougoumou et Waswanipi).

Les terres sont divisées en trois catégories :

- la catégorie I où les terres sont à l'usage et aux bénéfices exclusifs des autochtones;
- la catégorie II concerne les terres provinciales où les autochtones ont des droits exclusifs de chasse, de pêche et de piégeage;
- la catégorie III représente les terres publiques provinciales où les autochtones ont le droit exclusif d'exploiter certaines espèces aquatiques et certains animaux à fourrure et de participer à l'administration et à la mise en valeur du territoire.

En Jamésie, l'hiver dure 6 mois (de fin octobre à début mai) et la température moyenne minimale est d'environ -23 °C en janvier avec des pointes à -50 °C. Le vent y accentue fortement le froid. L'été est beaucoup plus chaud avec une moyenne en juillet de 14 °C pouvant aller jusqu'à 34 °C. En ce qui concerne les précipitations, il pleut moins qu'au sud : 765 mm de pluie

ou de neige en moyenne par an. Il est également important de noter qu'à ces latitudes, les journées sont plus longues que dans la région de Montréal en été et plus courtes en hiver.

Partie intégrante du bouclier canadien, le territoire de la Baie James forme une vaste plateforme caractérisée par des formations géologiques très complexes qui remontent à la période du précambrien, il y a quelques 2,5 milliards d'années. Les traces du repli de la dernière glaciation sont encore évidentes : affleurements rocheux dans les hautes terres et, dans les dépressions et sur les flancs de collines, les dépôts de till (débris de roche entraînés par les glaciers). D'ouest en est, le relief comprend d'abord une plaine côtière argileuse large de 150 kilomètres et parsemée de tourbières, puis un plateau central criblé de lacs, et enfin une zone plus accidentée à l'est. Il y a près de 8 000 ans, la mer de Tyrrell recouvrait la plaine côtière avec une limite marine maximale mesurée à une altitude allant jusqu'à 270 mètres. C'est dans les dépressions laissées par cet environnement marin que se sont déposés de l'argile silteuse et du sable fin. Ainsi, aujourd'hui, le territoire abonde en rivières et en lacs. Dans la partie sud de la Jamésie, une vaste plaine argileuse a été déposée par les lacs Barlow-Ojibway. Cette ceinture d'argile couvre 100 000 km² et s'étend de Lebel-sur-Quévillon à l'est jusqu'à Hearst (Ontario) à l'ouest. L'épaisse couche d'argile peut empêcher l'infiltration, ayant pour résultat une forte abondance de tourbières et forêt paludifiée sur ce territoire.

Cette région correspond à la zone boréale du Québec, elle-même divisée en deux sous-zones : la forêt boréale continue au sud et la taïga au nord. La première est composée de la sapinière à bouleau blanc au sud et de la pessière à mousses au nord, tandis que la deuxième est composée de la pessière à lichens.

1.2 Données d'habitat et de végétation

Une nouvelle base de données a été créée par la fusion et l'homogénéisation de deux anciennes bases de données. La plus ancienne vient du projet d'Inventaire du Capital-Nature de la Baie James. Pendant trois étés à partir de 1973, 26 personnes ont réalisé l'échantillonnage de 2085 «stations écologiques de référence» en Jamésie, dans le but de fournir aux aménagistes une base écologique pour la planification et l'aménagement intégré des ressources de ce territoire. Le choix de ces stations s'est fait de manière empirique mais toujours dans un souci de recouper

un maximum de variabilité écologique à l'intérieur de systèmes physiographiques représentatifs du territoire étudié. Dans chacune des stations écologiques de référence, de forme circulaire et d'une superficie de 5 ares, sont décrits : la végétation (selon la méthode de Braun-Blanquet), le sol (selon les normes de la Commission canadienne de pédologie), les paramètres dendrométriques de la végétation ainsi que plusieurs autres variables écologiques représentant en tout 57 variables.

La deuxième base de données provient des relevés écologiques du Ministère des ressources naturelles du Québec appelés « points d'observation écologique » de 1990 à 1997. Ces points sont des placettes circulaires de 400 m² réparties le long de transects, de manière à étudier les principales combinaisons de dépôt meuble, d'épaisseur de dépôt et de drainage, ainsi que le plus grand nombre de groupements végétaux possible. Les transects sont eux-mêmes répartis de façon à couvrir le relief caractéristique de chacun des districts écologiques inventoriés. 71 variables sont décrites dans cette base de données ainsi que les relevés de végétation.

La fusion et l'homogénéisation des deux bases de données ont pu se faire pour 36 variables : altitude, exposition, déclinaison, forme et position de la pente, submersion de la station, profondeur de la nappe phréatique, drainage, dépôt, texture de l'horizon de référence, pH de la couche organique de surface, épaisseur de la couche organique, présence de tourbe, épaisseur de la tourbe, épaisseur, degré de décomposition et nature des horizons Of (organique fibrique, peu décomposé), Om (organique mésique, structure visible, mais décomposition entamée) et Oh (organique humique, plus de structure identifiable), dépôt minéral sous-jacent, structure des tourbières, type de milieu, milieu non forestier, groupement d'essences, densité du peuplement arborescent, hauteur et âge des arbres dominants, espèces en régénération, perturbation.

Les classes de dépôt-drainage ont été combinées en 33 classes suivant les recommandations de Jurdant *et al.*, (1977). Ainsi, une nouvelle base de données de 10 169 placettes a été créée. Ces placettes ont été géoréférencées à l'aide d'ArcGIS 10.0 (Esri, 2010)

1.3 Données climatiques

Les données climatiques annuelles ont été obtenues grâce au logiciel BioSIM 10.0 (Régnière et St-Amant, 2008) qui contient la base de données des stations météorologiques du Canada de

1981 à 2010. Une simulation de 30 réplicats pour 400 points (positions géographiques) choisis aléatoirement en Jamésie par BioSIM a été réalisée. Nous avons déterminé que ce nombre de points couvrait adéquatement la région sans faire une interpolation excessive des données climatiques disponibles.

Le logiciel sélectionne les « meilleures » sources de données météo (valeurs quotidiennes ou mensuelles pour la période de 1981-2010) pour chaque point de la liste de localisations, ajuste les données pour les différences d'élévation, de latitude et de longitude et génère des valeurs en rétablissant la variation des normales climatiques. Les détails du calcul sont disponibles dans le Manuel de l'utilisateur (Régnière et St-Amant, 2008) De là, sont dérivés des paramètres climatiques à connotation plus biologique, tels le nombre annuel de degrés-jours de croissance et la durée annuelle moyenne de la saison de croissance. C'est donc par krigeage universel avec l'élévation comme variable externe que la méthode d'interpolation est réalisée.

Les variables climatiques annuelles obtenues de BioSIM sont : la précipitation totale par année (en mm), le nombre de jours consécutifs sans précipitation par année (<1 mm), la moyenne du déficit hygrométrique quotidien par année (en kPa), la durée de la saison de croissance par année (en jours), les températures maximale et minimale de l'année (en degré). La saison de croissance correspond à la période entre trois jours consécutifs sans température négative et trois jours consécutifs avec une température négative. Le rayonnement solaire total par année (en MJ/m²) est fourni par le *Mountain Climate Simulator* 4.3. Pour chaque variable, la moyenne des 29 années donne une estimation du climat en Jamésie. Les résultats de la simulation pour les 400 points géoréférencés ont été importés dans le logiciel ArcGIS 10.0 (Esri, 2010) et ont permis la réalisation des cartes de chacune des variables climatiques de la région concernée. Ces cartes ont été obtenues en utilisant la méthode du krigeage ordinaire sphérique, puisqu'il s'agissait d'une surface essentiellement bidimensionnelle.

1.4 Analyses des données

Les placettes se trouvant dans des milieux non forestiers et dans des coupes de même que celles où la richesse totale était inférieure à 10 ont été enlevées. Sur un nombre total de 9545 placettes provenant de la fusion des deux principales bases de données, ¾ ont servi à la calibration (7165) et ¼ à la validation (2380) du modèle.

Les données sur l'intervalle entre les feux (FRI) ont été ajoutées à la base de données. Elles ont été fournies par Boulanger *et al.*, (2012). Les auteurs ont défini des zones avec un régime de feu homogène en utilisant des données ponctuelles disponibles des incendies forestiers à travers le Canada. L'intervalle moyen entre les feux dans chaque zone a été calculé comme l'inverse du taux des superficies brûlées. Pour notre zone d'étude, cinq zones différentes ont été délimitées où l'intervalle de retour entre les incendies varie de 30 à 3707 ans.

La réponse de la richesse en espèces aux conditions climatiques (1.3) et aux variables de l'habitat (1.2) a été évaluée pour chaque strate de végétation (arbres, arbustes, herbes, fougères, plantes vasculaires, bryophytes, lichens et invasculaires) à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM). Une distribution de Poisson et une fonction de lien logarithmique ont été utilisées, comme cela est souvent le cas lors de l'analyse de données de dénombrement lorsque la variable réponse ne peut pas prendre des valeurs négatives (McCullagh et Nelder, 1989). L'approche de quasi-vraisemblance (Wedderburn, 1974) a été utilisée pour estimer les erreurs types en cas de surdispersion; un paramètre d'échelle empirique a été réglé à l'aide du khi-carré scalaire de Pearson divisé par les degrés de liberté résiduels (McCullagh et Nelder, 1989).

Le nombre d'espèces dans chaque parcelle a été défini en tant que variable dépendante tandis que le total des précipitations, la température maximale quotidienne la plus élevée, la température minimale quotidienne la plus basse, l'intervalle entre les feux, la forme de pente, position de la pente, du drainage latéral de l'eau et du dépôt-drainage de surface ont été définis comme variables explicatives. L'interaction entre les précipitations et la température maximale a été prise en compte dans le modèle et ces deux variables ont été centrées avant l'analyse, pour un meilleur ajustement du modèle. Les corrélations entre les variables explicatives ont été calculées pour s'assurer qu'il n'y avait pas de multicolinéarité.

Le modèle de prédiction de la richesse pour la végétation se décline comme suit :

$Richesse \sim \text{précipitations} + Tmax + Tmin + \text{intervalle feux} + \text{forme pente} + \text{position pente} + \text{dépôt-drainage} + \text{précipitations} : Tmax$
--

Ce modèle a été ajusté séparément pour chacune des strates de végétation. L'influence des valeurs aberrantes et de la distribution des résidus a été vérifiée pour chaque modèle de régression. Pour les bryophytes et les lichens seule la base de données de Jurdant a été utilisée, car les invasives n'ont pas été identifiées au niveau de l'espèce pour plusieurs genres dans la base de données d'inventaire écologique du Ministère des ressources naturelles du Québec. Seul le modèle global, intégrant toutes les variables possibles, a été testé pour les différentes strates. Les raisons sont doubles. Tout d'abord, avec une telle quantité de données la plupart des variables sont susceptibles d'être statistiquement significatives quelque soit leur importance biologique. Les techniques de réduction des variables, telle que la sélection par étapes, sont alors inefficaces. Deuxièmement, en gardant le même modèle pour chaque strate, il est plus facile de comparer les strates entre elles. Bien que le principe de parcimonie dicte généralement d'utiliser le modèle le plus simple, notre base de données nous permet d'estimer plusieurs paramètres simultanément sans risquer de rencontrer des problèmes de surestimation. En dernier lieu, notre vérification avec les données de validation permettrait l'identification des modèles peu fiables.

Pour évaluer l'importance relative de chacune des variables biologiques, nous avons développé un calcul simple qui représente la variation maximale du nombre d'espèces prédites par le modèle pour chaque variable : la différence entre les valeurs prédites pour les observations les plus élevées et les plus faibles de chaque variable (tout en gardant les autres variables constantes à la moyenne ou au mode) divisée par la gamme de la richesse observée pour chaque strate. Lorsqu'il est exprimé en pourcentage, ce calcul indique de combien les prédictions varient pour chaque prédicteur, tout en tenant compte de la variation maximale des valeurs observées. Bien que cette méthode n'ait pas de fondement statistique, elle nous donne une estimation quantitative de l'influence de chaque variable et de leur contribution à la prédiction de la richesse en espèces si on la compare à d'autres variables.

La qualité de l'ajustement a été évaluée pour chaque régression en utilisant la déviance expliquée (déviance résiduelle nulle moins déviance, divisée par la déviance nulle). Nous avons utilisé la base de validation pour calculer la corrélation entre la richesse spécifique observée et la richesse prédite par le modèle et évaluer l'ajustement du modèle.

La probabilité de présence de chaque espèce dans chaque placette a été modélisée avec des modèles binomiaux avec un «*link logit*». Le modèle développé pour la richesse a été utilisé, en

changeant la richesse par la probabilité de présence d'une espèce cible comme variable réponse. L'ajustement des modèles a été vérifié avec le test Hosmer-Lemeshow et les pseudos R^2 ont été calculés avec le Cox-Snell.

Les simulations de l'effet des CC sur la richesse en espèces et pour les espèces individuelles ont été réalisées avec les données du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC; résolution au 45 km). Pour voir l'impact des changements climatiques sur la richesse des différentes strates, des prédictions de richesse par strate pour chaque placette ont été générées. Comme les données climatiques issues de ces simulations sont fortement corrélées entre elles, nous avons réalisé au préalable une analyse en composantes principales (ACP) et utilisé le premier axe de l'ACP pour tester l'effet des CC sur la richesse. Nous avons réalisé une série d'ACP pour représenter le climat présent, modélisé par le MRCC, et trois prédictions de climat futur (2050) basé sur 12 simulations, utilisant respectivement les 25^{ième} (low), 50^{ième} (medium) et 75^{ième} (high) percentiles des simulations. Le premier axe de l'ACP était de loin le plus important, avec une *eigenvalue* variant de 2,47-2,61, versus 0,35-0,38 pour le deuxième axe. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique R (*R Core Team, 2012*).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 Climat de la zone à l'étude

On note la présence d'un gradient climatique nord-sud et est-ouest pour la zone à l'étude. En effet, les précipitations moyennes annuelles varient de 643 à 740 mm au nord-ouest à 935 à 1033 mm au sud-est. À l'inverse, pour la température la plus élevée de l'année, les résultats donnent un gradient nord-est/sud-ouest. Cette température varie de 26,05 °C au nord-est à 32,92 °C au sud-ouest. Les résultats concernant le nombre de jours consécutifs sans précipitation laissent apparaître un gradient nord-ouest/sud-est allant de 21,51 jours à 15,26 jours. La durée de la saison de croissance montre un gradient nord-est/sud-ouest de 14,01 /19,01 jours. Pour le rayonnement solaire total, le gradient varie de 4 050,44 MJ/m² au nord-ouest à 5 257,38 MJ/m² au sud-est.

2.2 Relation entre la richesse en espèces et les caractéristiques du climat et d'habitat

L'examen du patron de distribution de la richesse en espèces pour la zone à l'étude montre une diminution du sud vers le nord pour les espèces vasculaires (Figures 1a), une stabilité le long du gradient latitudinal pour les bryophytes (Figure 1b) et une augmentation pour les lichens (Figure 1c). Le pouvoir prédictif du modèle est plus élevé pour les invasculaires avec un pseudo-R² qui atteint 0,37 comparativement à 0,25 pour les plantes vasculaires (Tableau 1). La richesse observée pour les vasculaires varie entre 3 – 54 espèces et celle prédite est estimée respectivement à 10 – 36 (calibration) et 10 – 39 (validation) espèces. Parmi les différentes strates des plantes vasculaires, le pouvoir prédictif du modèle est le plus élevé pour les arbres (pseudo-R² = 0,35), suivi des herbacées (pseudo-R² = 0,20). Dans le cas des invasculaires la richesse observée se situe entre 0 – 28 espèces et celles prédites entre 5 – 22 (calibration) et 6 – 27 (validation) espèces. La strate des lichens est celle où le modèle atteint le pouvoir de prédiction le plus élevé avec un pseudo-R² = 0,58 comparativement à 0,17 pour les bryophytes (Tableau 1). Globalement les modèles ont été bien validés avec un coefficient de corrélation de Pearson variant entre 0,79 et 0,32 pour les différentes strates.

Lorsque l'on examine l'importance relative de chacune des variables du modèle, les précipitations ressortent comme un des facteurs les plus importants pour prédire la richesse à la fois pour les vasculaires (18,91%) et les invasculaires (25,81%), suivi de l'intervalle entre les feux (10,4% - vasculaires) et des températures minimales (13,17% - invasculaires) (Tableau 2). Lorsqu'on analyse les données pour chacune des strates séparément, la variable dépôt-drainage (19,46%) ressort le plus fortement pour les arbres, suivi des paramètres climatiques (précipitations, températures) et de l'intervalle entre les feux (10,73%). Dans le cas de toutes les autres strates, à l'exception des bryophytes, seules les précipitations ressortent comme le paramètre ayant le plus de poids (Tableau 2). La richesse globale des plantes vasculaires de même que celle de chacune des strates, augmente avec les précipitations (Figure 2). La tendance est inverse pour les lichens, alors qu'on observe une baisse marquée de la richesse en lichens avec l'augmentation des précipitations (Figure 2). Par contre, lorsqu'on tient compte de l'interaction entre les températures et les précipitations, la relation entre la richesse et les précipitations est moins évidente quand les prédictions sont modélisées pour les températures maximales quotidiennes. La même tendance, mais moins accentuée, est observée pour les températures moyennes maximales, soit une augmentation de la richesse avec l'augmentation de la température pour les plantes vasculaires (surtout les arbustes et les herbacées) et une baisse pour les invasculaires (particulièrement les bryophytes) (Figure 3). On note également une relation positive entre l'intervalle entre les feux et la richesse de la flore vasculaire, particulièrement les arbres et les herbacées, alors qu'on observe peu d'effet de ce facteur sur la flore invasculaire (Figure 4). Finalement le couplet dépôt-drainage entraîne des variations de la richesse, avec une richesse globalement plus élevée sur drainage mésique (Figures 5 a,b). La richesse en arbustes, herbacées, bryophytes et lichens varie le plus entre les différents types de dépôt-drainage. A titre d'exemple, on observe une plus grande richesse en lichens sur les dépôts mieux drainés (roche-mère) et les stations bien drainées de toute sorte de dépôts. Par contre, la richesse en bryophytes est plus élevée dans les stations humides.

2.3 Changements dans la richesse en espèces dans un climat futur

Les figures 6 & 7 illustrent la distribution géographique du Δ de la richesse pour les différentes strates. Les Δ sont calculés sur la base des différences entre la richesse observée et prédite pour

chacune des placettes; un Δ positif indique une augmentation du nombre d'espèces et un Δ négatif une diminution. Seul le percentile « high » est illustré. Pour les arbres, les arbustes, et les fougères, la richesse augmente sous un climat futur dans le nord de la région d'étude et sur quelques monts dans l'est. Par contre on observe une baisse dans le sud et dans quelques zones centrales (Figure 6). La baisse dans le sud est probablement reliée à un effet de bordure, puisque les espèces méridionales ne sont pas incluses dans les modèles. Les herbacées indiquent une augmentation plus généralisée, avec des pertes uniquement dans quelques zones du sud. En ce qui a trait à la flore vasculaire (Figure 7), il y a très peu de changements prédits à la fois pour les bryophytes et les lichens. Seules quelques placettes limitrophes indiquent une baisse de la richesse en lichens.

2.4 Changements dans la distribution des espèces dans un climat futur

Des 847 espèces dénombrées dans la base de données combinée, seules les 115 présentes dans au moins 10% des placettes (1000 présences) ont été évaluées graphiquement afin d'identifier la limite de distribution au nord ou au sud de la région d'étude. Parmi ces espèces, 44 n'avaient pas de limite au sud ou au nord, 63 avaient une limite nord, et huit avaient une limite au sud. Les espèces avec une limite de distribution au sud sont : *Betula glandulosa*, *Empetrum nigrum*, *Juniperus communis*, *Rubus chamaemorus*, *Stereocaulon paschale*, *Vaccinium cespitosum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*. Les 63 espèces ayant une limite nord sont listées en annexe (voir Annexe 2). Parmi celles-ci on retrouve; *Actae rubra*, *Athyrium filix-femina*, et *Prunus virginiana*.

Les espèces ayant une limite nord ou sud n'ont pas montré une grande sensibilité aux changements climatiques, tels que modélisés dans cette étude. Les Δ calculés pour les trois scénarios (low, medium, high) montrent qu'aucune espèce n'atteint un Δ supérieur à 0,15%. Ceci indique que les modèles prédisent au maximum un changement de probabilité de 0,15% de trouver l'espèce cible sur le territoire. Ce résultat est surprenant compte tenu des changements observés lorsque la même méthodologie est appliquée sur la richesse. Nous avons identifié trois explications possibles : (1) les changements climatiques ne sont pas bien représentés par le

premier axe de l'ACP; (2) la modélisation logistique ne capte pas bien la variation dans la présence/absence d'une espèce; (3) les changements climatiques sur l'horizon de temps choisi n'ont pas une grande influence sur la présence/absence (comparativement à l'abondance) d'une espèce; (4) l'influence du milieu (l'habitat) sur la présence d'une espèce domine sur celle du climat. Dans le futur, il faudra intégrer dans les modèles, outre les CC, les changements dans : i) la disponibilité de l'habitat; ii) les perturbations naturelles ou anthropiques; et iii) la structure et la composition de la végétation.

CONCLUSION

La réalisation de ce projet a permis la création d'une nouvelle base de données à partir de celles du Ministère des ressources naturelles du Québec et de Jurdant *et al.*, (1977). La mise à jour des données contribuera à alimenter l'Atlas de la biodiversité du Québec nordique élaboré par le MDDEFP. La production de cartes de distribution des flores vasculaire et invasculaire est utile à la fois pour la communauté scientifique et pour ceux qui interviennent sur le territoire, en particulier les gestionnaires d'aires protégées, pour les aider à orienter leur gestion dans un contexte de CC.

Il ressort de notre analyse que les modèles intégrés de Hunter *et al.*, (2010) possèdent un bon potentiel pour prédire la distribution future de la richesse et des espèces. Ils ont permis d'identifier les variables qui ont le plus d'influence sur la distribution de la flore vasculaire et invasculaire. Les variables significatives les plus explicatives ont servi à modéliser la richesse et à reconstituer les variations d'abondance des espèces clés sur l'ensemble de la Jamésie. La présence et la richesse d'une espèce dépendent de plusieurs facteurs environnementaux (lumière, température, nutriments, eau), des perturbations et d'autres variables biotiques. En ce qui concerne la lumière, le choix de l'exposition, de la déclinaison, et de la pente semblent justifiés. Kumar *et al.*, (1997) ont montré que 5 % du rayonnement solaire quotidien en juin sur une pente orientée plein sud à 40 ° est équivalent à celui reçu à la latitude de 36,5 ° par le même versant orienté vers le nord. En d'autres termes, une plante située au sud mais sur une pente orientée vers le nord reçoit la même quantité de rayonnement solaire que si elle était exposée côté sud 200 km plus au nord. Pour l'eau, la quantité de précipitations ressort comme une

variable importante de l'effet du climat, mais le drainage, la déclinaison et la position de la pente sont aussi des facteurs qui influencent la présence d'une espèce. Les données sur les perturbations sont également très importantes. Il faut acquérir plus de connaissances sur l'effet des CC sur les épidémies d'insectes et les feux. En effet, ce sont les perturbations les plus communes de la région étudiée et elles ont de grandes conséquences sur la biodiversité selon leur intensité et leur fréquence.

Nos résultats démontrent que la quantité de précipitations est, parmi les facteurs étudiés, celui qui a le plus d'influence sur la richesse. L'effet des températures est de moindre importance. Le même phénomène est observé pour la croissance des arbres (Huang *et al.*, 2010). En effet, on observe qu'au-delà du 49^e degré de latitude, la température a peu d'influence, mais ce sont les précipitations durant la saison de croissance qui ont davantage d'impacts sur la végétation. Avec les CC on prévoit une augmentation de la richesse spécifique au nord et conséquemment une augmentation de la biodiversité des écosystèmes nordiques, contrairement à ce qui est souvent observé dans plusieurs autres régions dans le monde. Par contre l'augmentation de la richesse en espèces dans le nord avec les CC, aussi appelée le «paradoxe de la biodiversité nordique», pourrait être accompagnée par l'arrivée d'espèces envahissantes ou nuisibles (p. ex. parasites), la désynchronisation des interactions entre espèces (p. ex. prédateurs/proies) et l'altération des habitats ayant pour effet que cette augmentation du nombre d'espèces ne serait pas nécessairement bénéfique pour les assemblages écologiques et les écosystèmes nordiques (Berteaux *et al.*, 2010).

Par ailleurs, la trajectoire suivie par la végétation va dépendre d'une interaction complexe et de l'équilibre entre l'effet des CC sur la fréquence des feux et sur les changements dans la végétation. Les feux ont un effet marqué sur la richesse. Par exemple, la limite de la forêt boréale mixte (plus riche en espèces) serait contrôlée à la fois par l'effet direct du climat sur le potentiel de régénération et de croissance des différentes espèces végétales, mais aussi par l'effet indirect du climat sur la fréquence des feux et la grandeur des superficies brûlées. Des feux plus fréquents et plus grands favorisent le maintien de la pessière à mousses et à lichens. Le réchauffement climatique devrait augmenter la fréquence des feux au nord. Par contre, on prévoit également une augmentation de la composante feuillue (entre autres bouleau, tremble) avec les CC (Terrier *et al.*, 2012). L'augmentation des feuillus dans le paysage contribuerait alors à réduire la taille et la fréquence des incendies forestiers et à accroître la proportion de forêt

boréale mixte (plus riche en espèces) dans la pessière. En se basant sur la reconstruction holocène de la végétation et des incendies forestiers, ce scénario semble plausible.

Retombées pour l'adaptation

- Il est essentiel de prendre en considération à la fois l'effet direct du climat sur la végétation et l'effet indirect du climat sur le régime des feux si on veut arriver à prédire l'effet des CC sur la distribution future des espèces dans les écosystèmes nordiques.
- L'augmentation de la composante feuillue en forêt résineuse pourrait contrer une augmentation de la fréquence des feux et avoir un effet positif sur la richesse des plantes vasculaires sur le territoire étudié.

Pour les suites du projet il serait intéressant de vérifier les liens entre diversités spécifique et génétique dans cet écosystème. Par ailleurs, les espèces ayant une limite au sud et au nord de la zone d'étude et potentiellement plus sensibles au CC pourraient servir d'espèces indicatrices pour le suivi de l'effet des CC sur l'aire de distribution des flores vasculaire et invasculaire sur le territoire.

RÉFÉRENCES

- Araújo M.B., Guisan A., 2006. « Five (or so) challenges for species distribution modelling ». *Journal of Biogeography*, 33: 1677-1688.
- Barry S., Elith J., 2006. « Error and uncertainty in habitat models ». *Journal of Applied Ecology*, 43: 413-423.
- Berteaux D., de Blois S., Angers, J.F. *et al.* 2010. The CC-Bio Project: Studying the Effects of Climate Change on Quebec Biodiversity, *Diversity* 2, 1181-1204; doi:10.3390/d2111181
- Boulanger, Y., Gauthier, S., Burton, P.J. & Vaillancourt, M.A. 2012. An alternative fire regime zonation for Canada. *International Journal of Wildland Fire* 21 (8): 1052-1064.
- Caccianiga, M., Payette, S. 2006. Recent advance of white spruce (*Picea glauca*) in the coastal tundra of the eastern shore of Hudson Bay (Québec, Canada) *Journal of Biogeography*, 33: 2120-2132.
- Coetsee B.W.T., Robertson M.P., Erasmus B.F.N., Rensburg B.J.V., Thuiller W., 2009. « Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa are less effective for conserving endemic birds under climate change ». *Global Ecology and Biogeography*. 18: 701-710.
- Hijmans R.J., Graham C.H., 2006. « The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions ». *Global Change Biology*, 12: 2272-2281.
- Huang , J. G. , J. Tardif , Y. Bergeron , B. Denneler , F. Berninger , and M. P. Girardin . 2010 . Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. *Global Change Biology* 16 : 711 – 731
- Huntley. B., Collingham Y.C., Willis S.G., Green R.E., 2008. « Potential impacts of climatic change on European breeding birds ». *PLoS ONE*, 3(1): e1439.
- Huntley B., Barnard P., Altwegg R., Chambers L., Coetsee B.W.T, Gibson L., Hockey P.A.R., Hole D.G., Midgley G.F., Underhill L.G., Willis S.G., 2010. « Beyond bioclimatic envelopes: dynamic species' range and abundance modelling in the context of climatic change ». *Ecography*, 33: 621-626.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. « Climate Change ». University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- Jurdant, M., J.L. Bélair, V. Gerardin et J.P. Ducruc, 1977. l'inventaire du capital-nature. méthode de classification et de cartographie du territoire (3ème approximation). pêches et environnement canada, série de la classification écologique du territoire, no 2, 202 p.
- Keeling C.D., Chin J. F. S., Whorf T.P., 1996. “ Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements.” *Nature*, 382: 146-149.
- King G.A., Neilson R.P. 1992. « The transient response of vegetation to climate change ; A potential source of CO₂ to the atmosphere ». *Water, Air, and Soil Pollution*, 64: 365-383.

- Lloyd, A.H. and C.L. Fastie (2003). Recent changes in treeline forest distribution and structure in interior Alaska. *Ecoscience*. 10(2):176-185
- Lüthi D., Le Floch M., Bereiter B., Blunier T., Barnola J.M., Siegenthaler U., Raynaud D., Jouzel J., Fischer H., Kawamura K., Stocker T.F., 2008. « High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present ». *Nature*, 453: 379-382.
- McCullagh, P. & Nelder, J.A. 1989. *Generalized linear models*. 2nd. ed. Chapman & Hall, London.
- Myneni B., Keeling C.D., Tucker C.J., Asrar G. N., Nemani R.R., 1997. “ Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991.” *Nature*, 386: 698-702.
- Neilson R.R., Pitelka L.F., Solomon A.M., Nathan R., Midgley G.F., Lischke J.M.V.F.H., Thompson K., 2005. « Forecasting Regional to Global Plant Migration in Response to Climate Change ». *BioScience*, 55(9) : 749-759.
- Raynaud D., Blunier T., Ono Y., Delmas R.J., 2002. « The late quaternary history of atmospheric trace gases and aerosols : interactions between climate and biogeochemical cycles ». *Paleoclimate, Global Change and the Future*, 13-35.
- R Core Team. 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Régnière J., St-Amant R. 2008. *BioSIM 9.0 A User's Manual*. Laurentian Forestry Center, Canadian Forestry Service, Natural Resources Canada.
- Schumacher S., Bugmann H., 2006. “ The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps.” *Global Change Biology*, 12(8): 1435-1450.
- Terrier A. , Girardin M.P., Périé C., Legendre P., Bergeron Y. 2012. Potential changes in forest composition could reduce impacts of climate change on boreal wildfires. *Ecological Applications*, 00(0), 0000, pp. 000–000 0000 by the Ecological Society of America
- Thuiller W., Broennimann O., Hughes G., Alkemade J.R.M., Midgley G.F., Corsi F., 2006. « Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions ». *Global Change Biology*, 12: 424-440.
- Wedderburn, R.W.M. 1974. Quasi-likelihood functions, generalized linear models, and the Gauss-Newton method. *Biometrika* 61 (3): 439-447.

Tableau 1. Valeurs minimales et maximales (nb. d'espèces) des richesses observées et prédites, paramètre de dispersion, déviance expliquée et coefficient de corrélation entre les données observées dans le jeu de validation et celles prédites par le modèle pour chacune des strates.

	Vasculaires	Arbres	Arbustes	Herbacées	Fougères	Invasculaires	Bryophytes	Lichen
Richesse observée	3 – 54	0 – 8	0 – 21	0 – 32	0 – 9	0 – 28	0 – 16	0 – 23
Richesse prédite (calibration)	10 – 36	1 – 6	5 – 10	3 – 18	0 – 6	5 – 22	3 – 9	1 – 16
Richesse prédite (validation)	10 – 39	1 – 6	5 – 10	3 – 20	0 – 7	6 – 27	3 – 8	1 – 22
Paramètre de dispersion^a	2,61	0,40	0,82	2,27	1,41	1,58	1,03	1,74
Pseudo-<i>R</i>^{2b}	0,25	0,35	0,12	0,20	0,18	0,37	0,17	0,58
Coefficient de corrélation^c	0,47	0,60	0,32	0,43	0,42	0,65	0,40	0,79

^aLe paramètre de dispersion est calculée par $((\sum(\text{obs-pred})^2)/\text{pred})/\text{df}$ résiduels).

^bLa déviance (D) expliquée par le modèle est calculée par $((D \text{ modèle nul} - D \text{ modèle})/D \text{ modèle nul})$.

^cCoefficient de corrélation de Pearson entre les données observées dans le jeu de validation et celles prédites par le modèle.

Tableau 2 : Variation maximale en richesse prédite pour chaque variable divisée par la variation maximale observée. Exprimé sous forme de pourcentage, ce calcul reflète l'importance de chacune des variables. Les interactions entre les précipitations et les températures maximales n'ont pas pu être prises en compte dans ces calculs. Les chiffres en caractères gras indiquent les différences jugées biologiquement significatives ($\geq 10\%$).

	Arbres	Arbustes	Herbacées	Fougères	Bryophytes	Lichen	Vasculaires	Invasculaires
Précipitations	17.82%	12.48%	11.44%	20.95%	5.71%	20.15%	18.91%	25.81%
Temp max	18.29%	7.36%	2.26	4.92%	6.81%	7.02%	7.34%	9.57%
Temp min	13.08%	2.75%	5.95%	9.10%	3.63%	7.49%	8.87%	13.17%
Intervalle moyen entre les feux	10.73%	6.01%	7.21%	8.18%	0.92%	3.42%	10.40%	5.16%
Forme de la pente	3.97%	1.77%	0.89%	3.29%	1.55%	0.05%	2.36%	0.59%
Situation sur la pente	2.14%	1.74%	3.00%	4.32%	2.95%	0.38%	3.77%	2.08%
Dépôt-Drainage	19.46%	5.00%	1.45%	3.98%	2.95%	8.82%	5.74%	6.82%
Drainage oblique	1.16%	0.80%	8.13%	7.95%	5.99%	3.01%	1.40%	6.91%

Pourcentages calculés par $((\max_{\text{variable}} - \min_{\text{variable}}) / (\max_{\text{observé}} - \min_{\text{observé}})) \times 100$

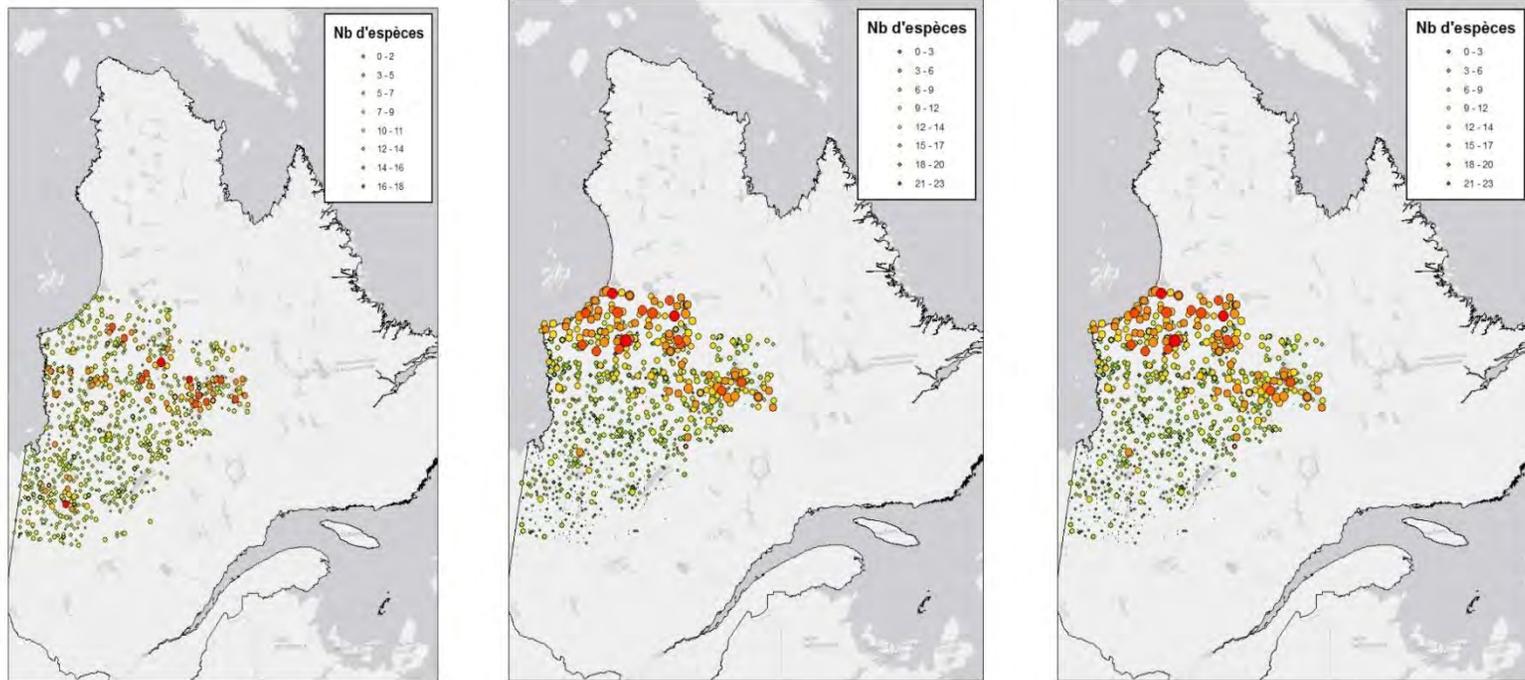


Figure 1 : Répartition géographique de la richesse (nb. d'espèces) des plantes vasculaires (A), des bryophytes (B) et des lichens (C).

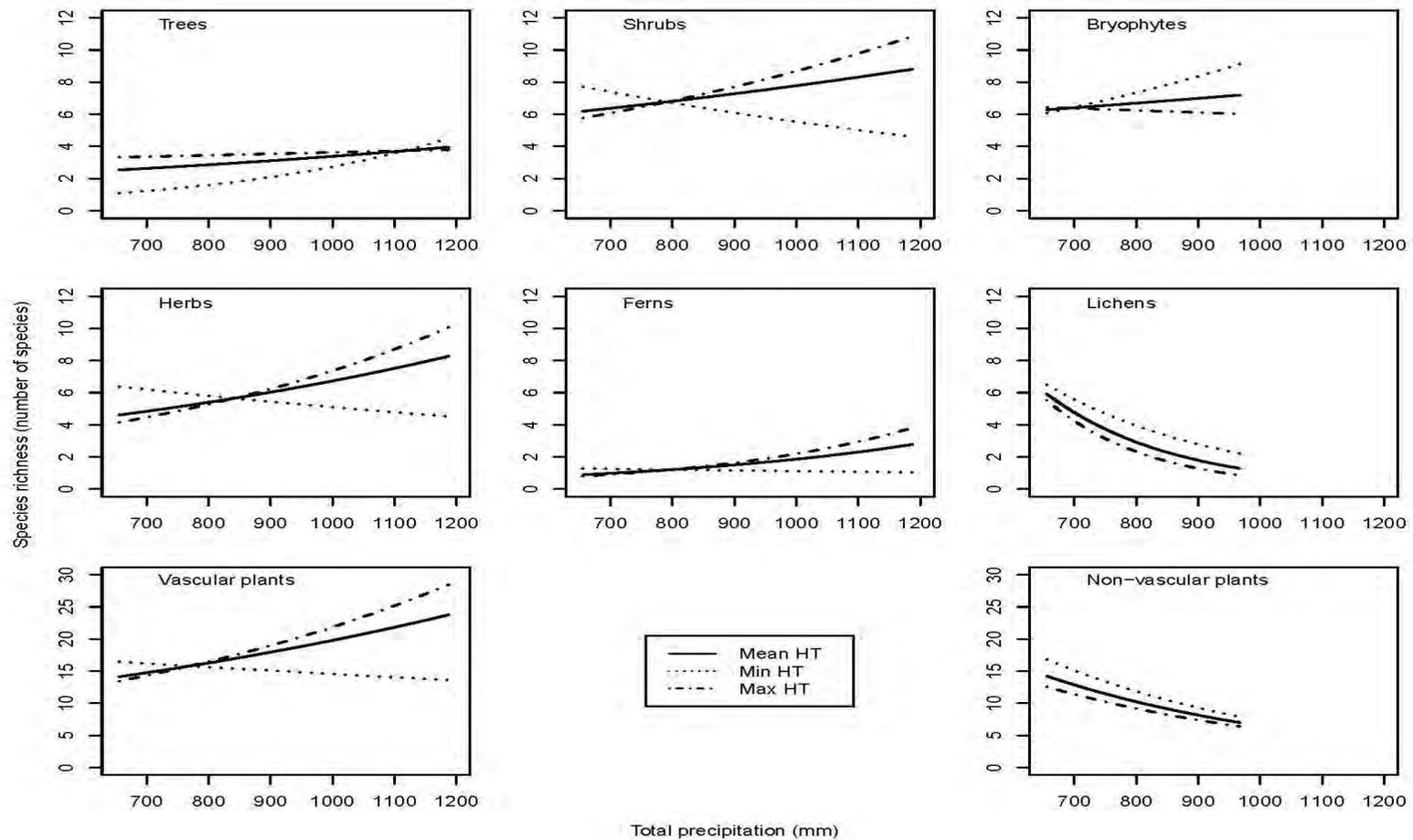


Figure 2 : Prédications de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec les précipitations totales annuelles (mm) et la température maximale. Trois courbes sont illustrées, soit la relation avec la plus haute température quotidienne maximale, la moyenne température quotidienne maximale et la plus basse température quotidienne maximale.

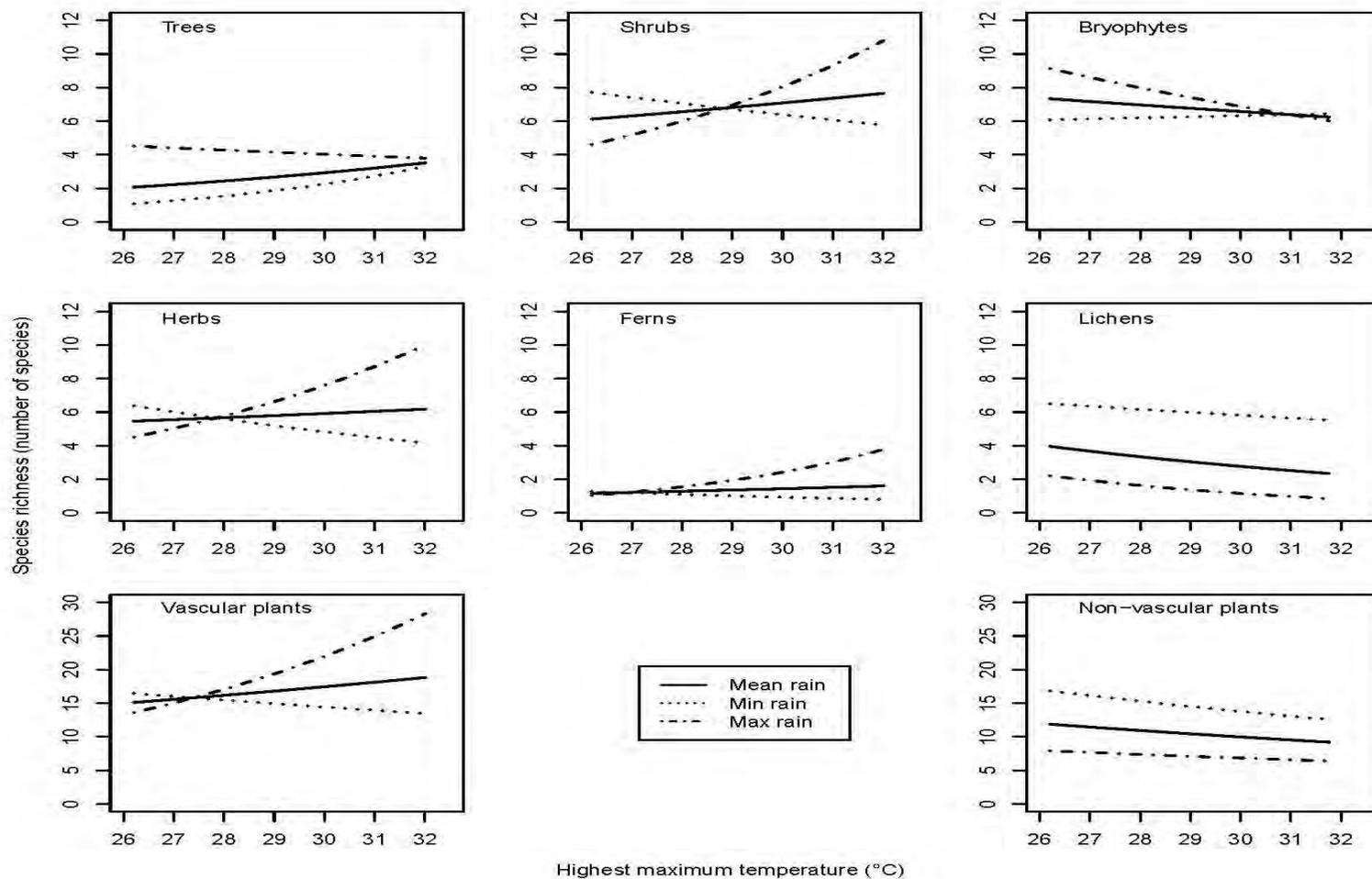


Figure 3 : Prédications de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec la température maximale et les précipitations totales annuelles (mm). Trois courbes sont illustrées, soit la relation avec la précipitation quotidienne maximale, la précipitation moyenne quotidienne et la précipitation minimale quotidienne.

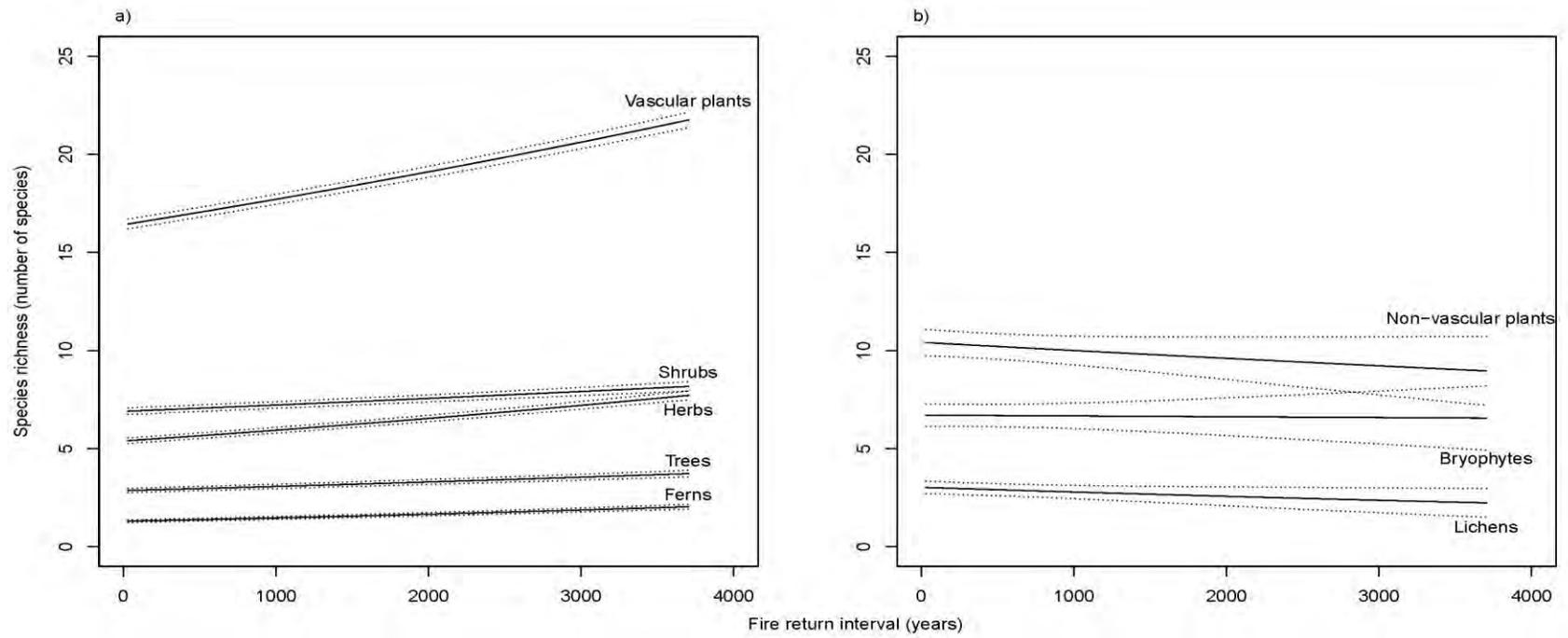


Figure 4: Prédications de richesse (nb. d'espèces) des différentes strates de la végétation en relation avec l'intervalle entre les feux (années).

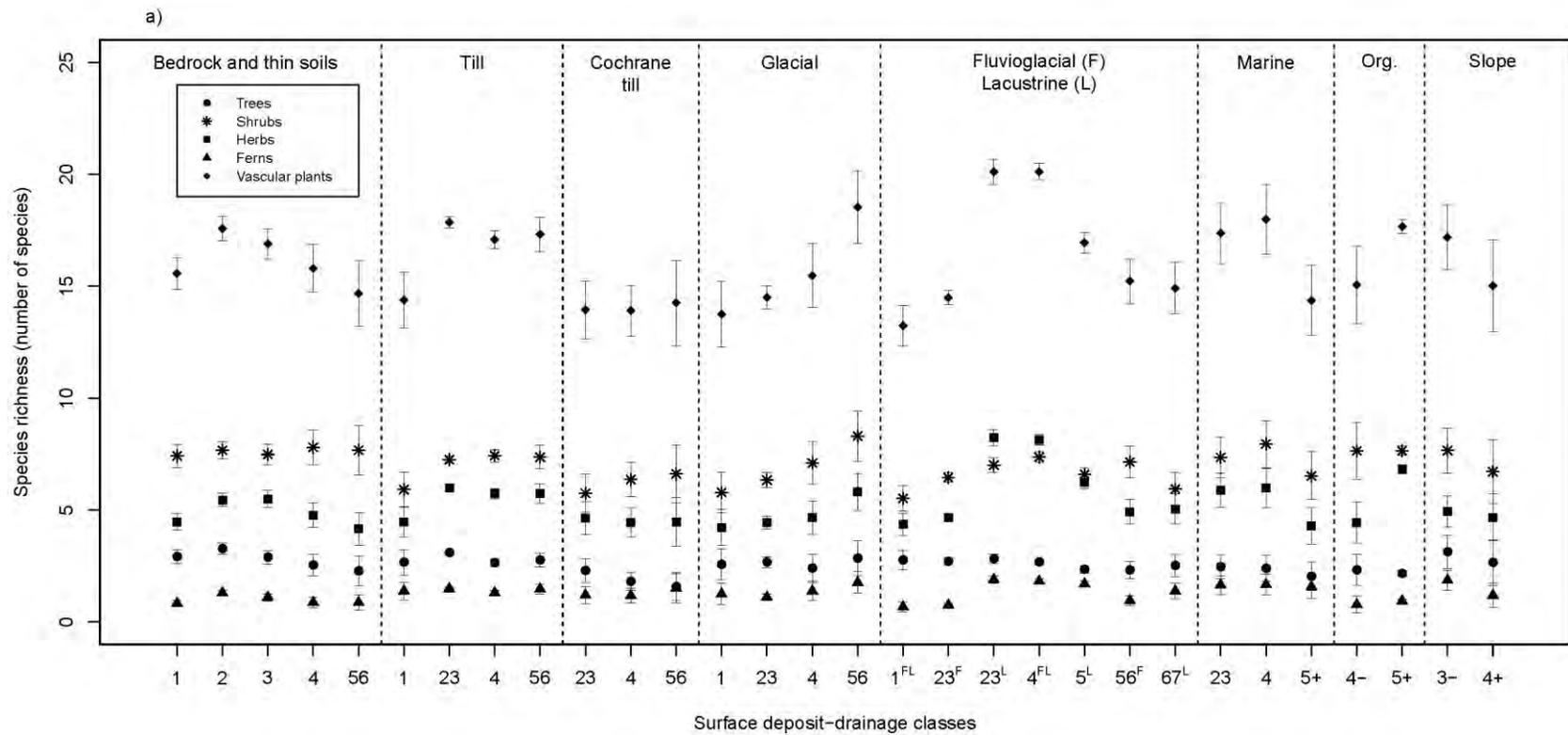


Figure 5a: Relation entre la richesse (nb. d'espèces) des différentes strates des plantes vasculaires et le dépôt-drainage. Les arbres sont indiqués par les cercles, les arbustes par les étoiles, les herbacées par les carrés, les fougères par les triangles, les plantes vasculaires par les losanges.

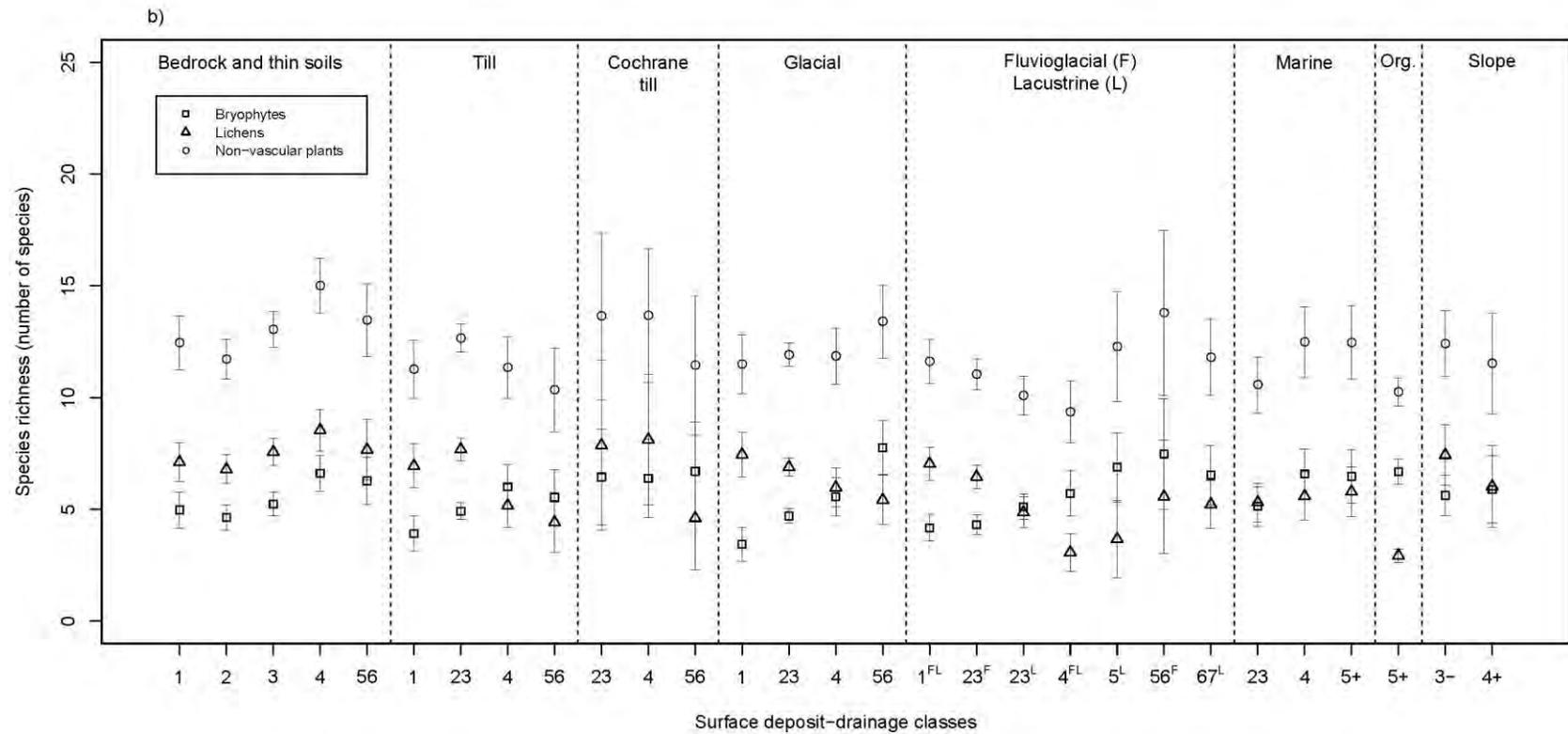


Figure 5b : Relation entre la richesse (nb. d'espèces) des différentes strates des invasculaires et le dépôt-drainage. Les bryophytes sont indiqués par les carrés, les lichens par les triangles et les plantes invasculaires par les cercles.

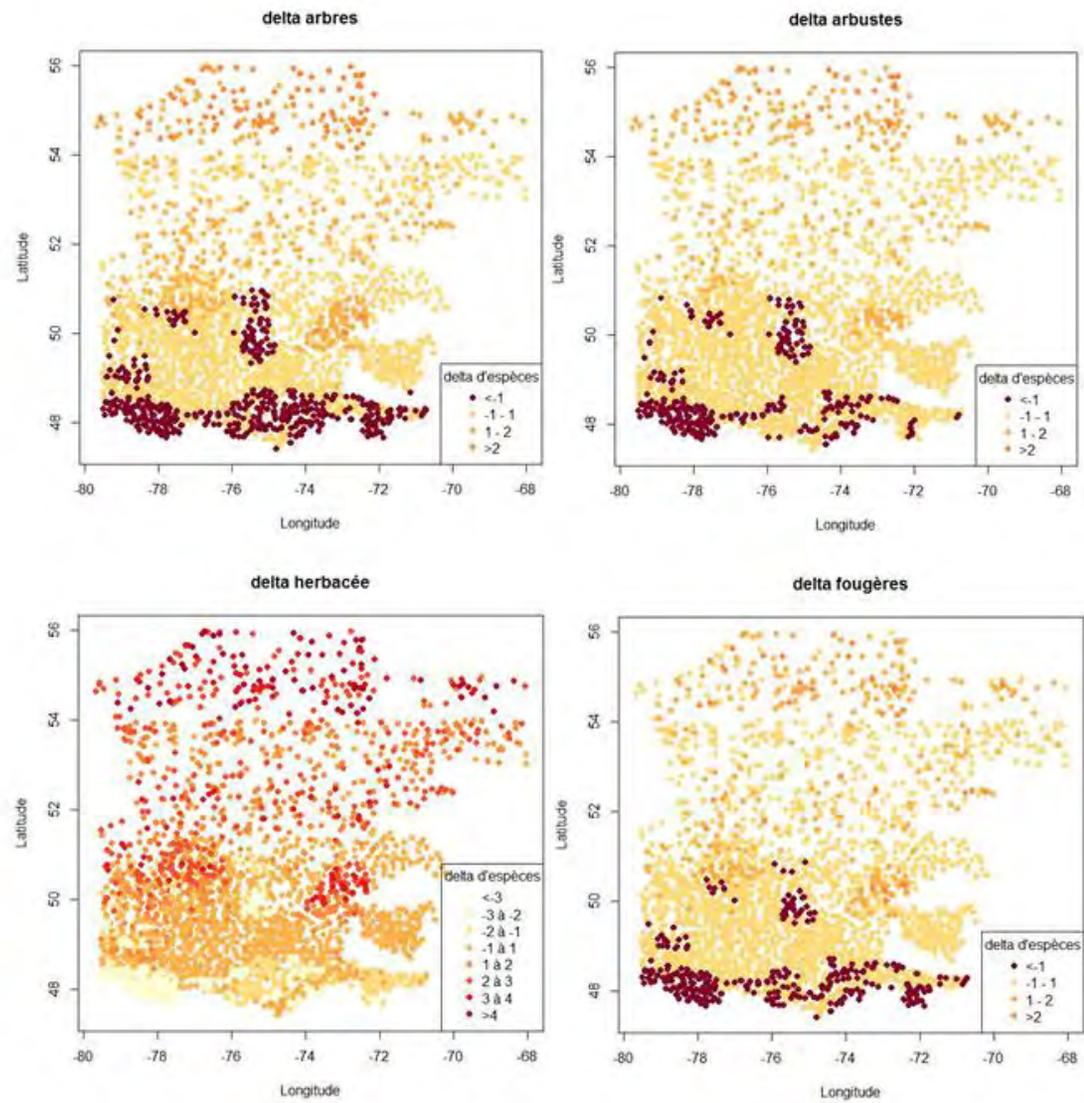


Figure 6 : Cartes des changements (nb. d'espèces : Δ) de la richesse des différentes strates vasculaires dans un climat futur (high)

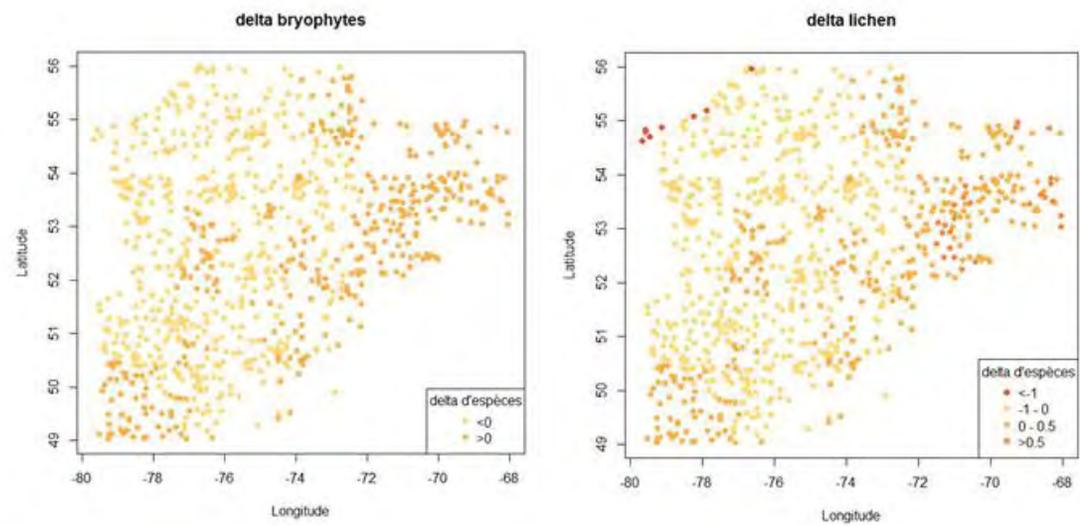
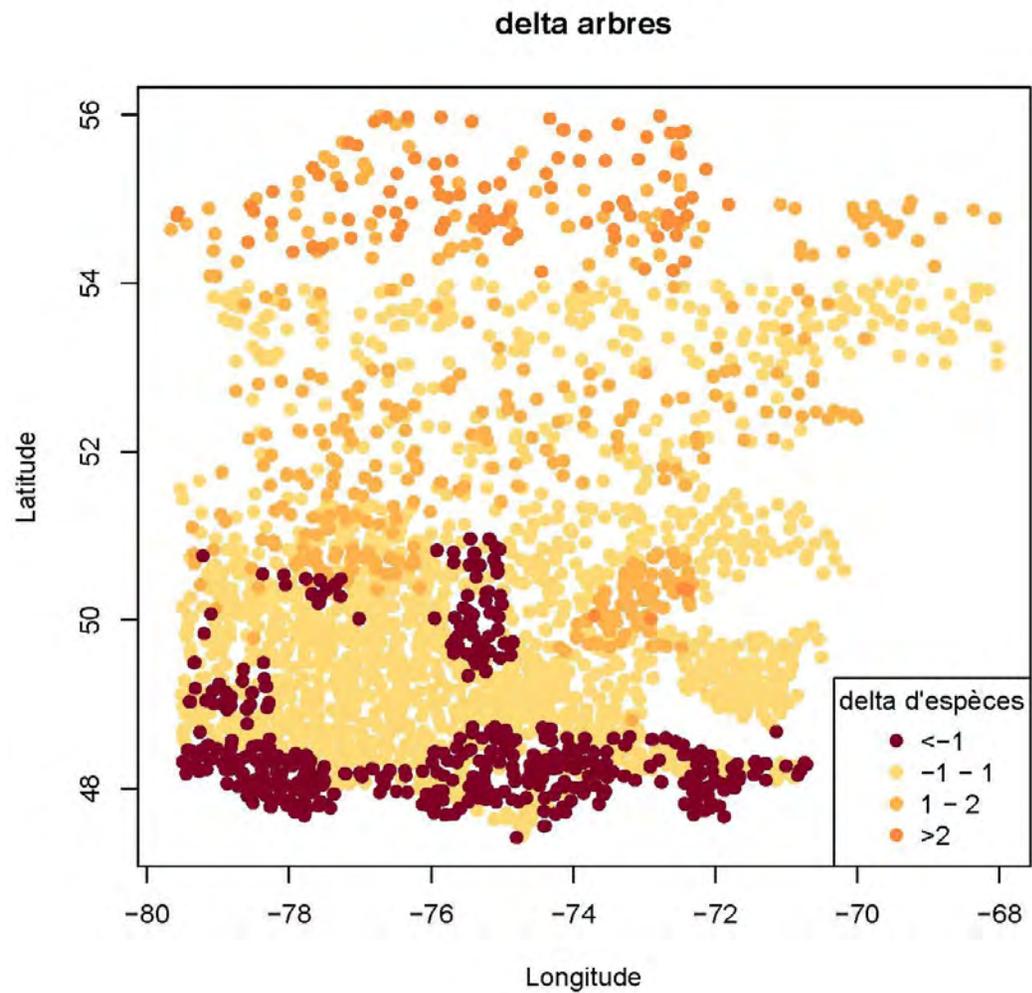


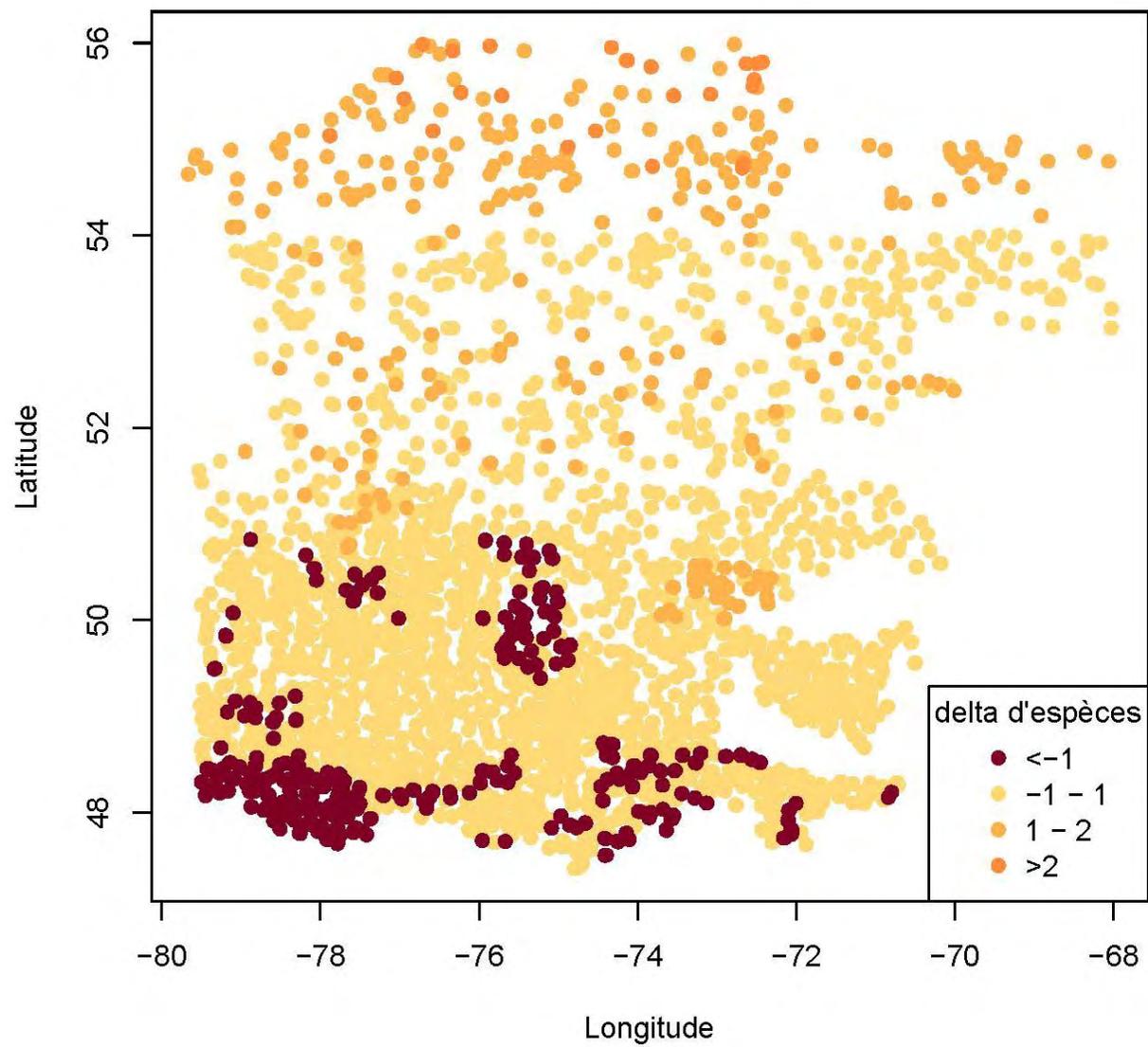
Figure 7 : Cartes des changements (nb. d'espèces : Δ) de la richesse des différentes strates non-vasculaires dans un climat futur (high)

ANNEXES

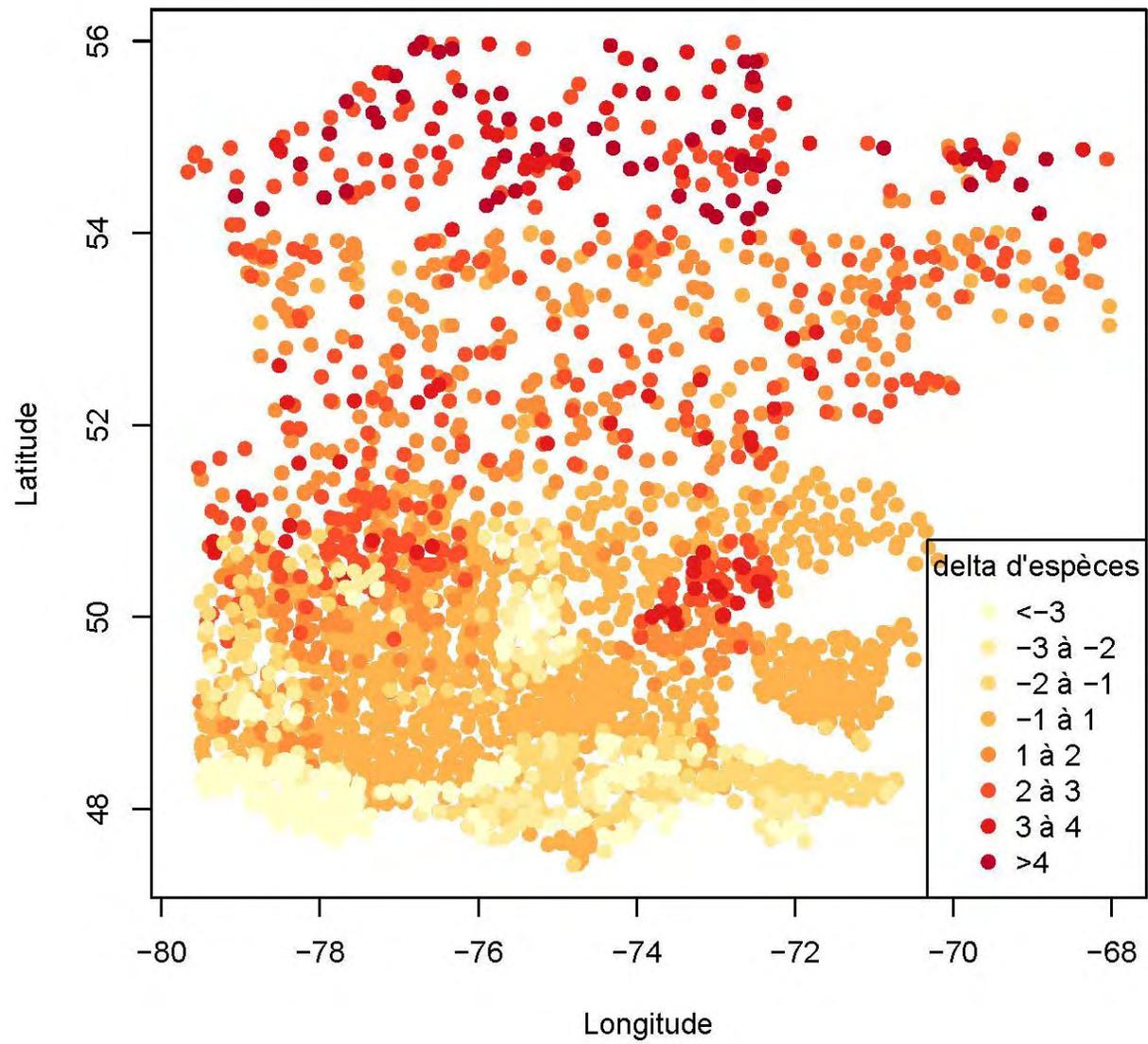
Annexe 1 : Cartes de la richesse (Δ) des différentes strates dans un climat futur.



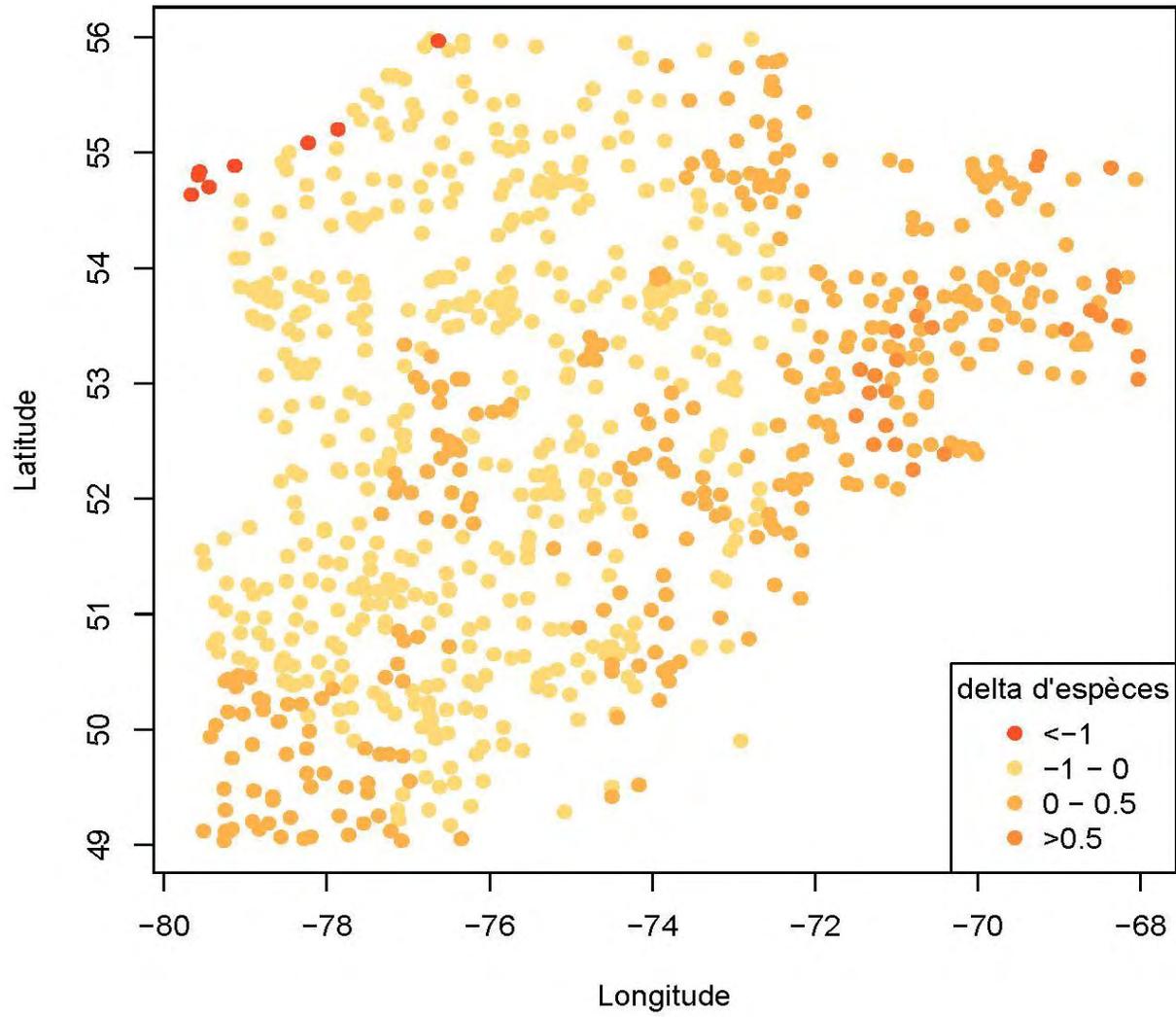
delta arbustes



delta herbacée



delta lichen



Annexe 2 : Liste des espèces situées à la limite nord de leur aire de distribution sur le territoire Eeyou Istchee Baie James.

ACR	<i>Actaea rubra f. negelecta</i>
ARN	<i>Aralia nudicaulis</i>
ASA	<i>Aster acuminatus</i>
ASM	<i>Aster macrophyllus</i>
ATF	<i>Athyrium filix-femina</i>
AUR	<i>Alnus rugosa</i>
BAT	<i>Bazzania trilobata</i>
BOJ	<i>Betula alleghaniensis</i>
BOP	<i>Betula papyrifera</i>
CIA	<i>Circaea alpina</i>
CLB	<i>Clintonia borealis</i>
COC	<i>Corylus cornuta</i>
COR	<i>Cornus stolonifera</i>
CYA	<i>Cypripedium acaule</i>
DIE	<i>Diervilla lonicera</i>
DRD	<i>Dryopteris disjuncta</i>
DRP	<i>Dryopteris phegopteris</i>
DRS	<i>Dryopteris spinulosa</i>
EPA	<i>Epilobium angustifolium</i>
EPB	<i>Picea glauca</i>
ERE	<i>Acer spicatum</i>
ERR	<i>Acer rubrum</i>
GAT	<i>Galium triflorum</i>
GOR	<i>Goodyera repens</i>
KAA	<i>Kalmia angustifolia</i>
LON	<i>Lonicera canadensis</i>

LYC	<i>Lycopodium clavatum</i>
LYL	<i>Lycopodium lucidulum</i>
LYO	<i>Lycopodium obscurum</i>
MAC	<i>Maianthemum canadense</i>
MEI	<i>Melampyrum lineare</i>
MIN	<i>Mitella nuda</i>
MNP	<i>Mnium punctatum</i>
MON	<i>Monotropa uniflora</i>
NEM	<i>Nemopanthus mucronatus</i>
OSC	<i>Osmunda cinnamomea</i>
OSY	<i>Osmunda claytoniana</i>
OXM	<i>Oxalis montana</i>
PEB	<i>Populus balsamifera</i>
PRP	<i>Prunus pensylvanica</i>
PRV	<i>Prunus virginiana</i>
PTA	<i>Pteridium aquilinum</i>
PYE	<i>Pyrola elliptica</i>
ROA	<i>Rosa acicularis</i>
RUI	<i>Rubus idaeus</i>
RUP	<i>Rubus pubescens</i>
RYT	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>
SAB	<i>Abies balsamea</i>
SAP	<i>Sambucus racemosa var. pubens</i>
SOA	<i>Sorbus americana</i>
SOD	<i>Sorbus decora</i>
SOR	<i>Solidago rugosa</i>
STA	<i>Streptopus amplexifolius</i>
STR	<i>Streptopus roseus</i>
TAC	<i>Taxus canadensis</i>

THP	<i>Thalictrum polygamum</i>
TRU	<i>Trillium undulatum</i>
VAM	<i>Vaccinium myrtilloides</i>
VIC	<i>Viburnum cassinoides</i>