



**BIOGÉOGRAPHIE ET DYNAMIQUE DE LA FORÊT TEMPÉRÉE NORDIQUE
DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

MÉMOIRE PRÉSENTÉ

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences

PAR

©STEVE VISSAULT

Janvier 2016

Composition du jury :

Dominique Berteaux, président du jury, Université du Québec à Rimouski

Dominique Gravel, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Matthew Talluto, codirecteur de recherche, Université Joseph Fourier

Isabelle Boulangeat, codirecteur de recherche, Aarhus University

Niklaus Zimmermann, examinateur externe, Swiss Federal Research Institute WSL

Dépôt initial le [date mois année]

Dépôt final le [date mois année]

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

*À mes parents, mes frères et
soeurs, et ceux qui ont été patient.*

REMERCIEMENTS

Je tiens dans un premier temps à remercier mon directeur Dominique Gravel pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette maîtrise. Je tiens également à remercier Isabelle Boulangeat et Matthew Talluto pour leurs implications et .

AVANT-PROPOS

Je pourrais commencer cette avant-propos par, *Depuis tout jeune, je souhaite comprendre comment la nature fonctionne...* mais je ne le ferais pas. Je n'ai pas atterri sur ce projet par simple mouvement brownien. Ce projet est plutôt l'aboutissement d'un parcours scolaire plus ou moins linéaire animé par la curiosité et la passion pour l'écologie. Après une technique en Bioécologie et un baccalauréat en Biologie, je me suis aperçu que mes centres d'intérêts ne portaient pas sur une espèce particulière. J'étais plutôt fasciné par les lombrics, que par l'original de par l'important rôle fonctionnelle qu'ils remplissent. Ainsi, je ne souhaitais pas devenir un spécialiste d'une espèce en particulier mais plutôt un généraliste dont la mission serait de comprendre comment un écosystème terrestre fonctionne à une échelle plus globale. Mon implication, au sein du laboratoire de Dominique Gravel durant mon baccalauréat, m'a permis d'être initié à l'univers de la modélisation et l'écologie théorique. Ce domaine offrait un cadre idéal pour assouvir cette envie de comprendre le fonctionnement d'un écosystème. Je ne

La reproductibilité est un des critères scientifiques (Popper)

[Cette page est facultative ; l'éliminer si elle n'est pas utilisée. L'avant-propos ne doit pas être confondu avec l'introduction. Il n'est pas d'ordre scientifique alors que l'introduction l'est. Il s'agit d'un discours préliminaire qui permet notamment à l'auteur d'exposer les raisons qui l'ont amené à étudier le sujet choisi, le but qu'il veut atteindre, ainsi que les possibilités et les limites de son travail. On peut inclure les remerciements à la fin de ce texte au lieu de les présenter sur une page distincte.]

RÉSUMÉ

De nombreuses espèces ne migrent pas assez vite pour suivre la rapidité des changements climatiques. Les arbres sont bien connus pour éprouver de longs délais dans leurs réponses au climat parce qu'ils sont sessiles, possèdent une forte longévité et disposent de faible capacité de dispersion. Les approches actuelles pour prédire l'aire de répartition future des espèces, telles que les modèles d'enveloppe climatique, ne peuvent pas tenir compte de ces particularités propres aux écosystèmes forestiers, car ils assument une dispersion infinie et une réponse instantanée aux changements climatiques. Nous proposons une nouvelle approche de modélisation basée sur la théorie des métapopulations pour tenir compte de cette capacité limitée de dispersion, des interactions biotiques et de la démographie propre à la forêt tempérée nordique du nord-est de l'Amérique du Nord. Notre objectif est d'évaluer si ce biome forestier sera en mesure de suivre sa niche climatique d'ici la fin de ce siècle. Nous avons effectué des simulations de l'écotone entre la forêt boréale et tempérée en utilisant un modèle d'états et de transitions (STM), dans lequel les communautés forestières sont classées dans 4 états : boréales, tempérées, mélangées et en régénération après une perturbation. Les transitions entre les états sont calibrées à partir des inventaires des parcelles permanentes présents aux États-Unis et au Canada. Les résultats des simulations du modèle indiquent que la forêt tempérée se déplacera seulement de $14 \pm 2,0$ km alors qu'un modèle de distribution d'espèces standard prédit un déplacement de $238,79 \pm 34,24$ km. Les simulations de l'écotone forestier mettent également en évidence que la majorité des transitions attendues seront une conversion des peuplements mixtes vers des peuplements purement décidus. L'utilisation du modèle avec un scénario de dispersion infinie révèle que les interactions biotiques et la démographie sont les facteurs les plus importants qui limitent la capacité d'expansion du biome de la forêt tempérée. En conclusion, la forêt tempérée possède une faible résilience au changement climatique en raison de sa lente démographie et des fortes interactions compétitives avec les espèces boréales.

Mots clés : [Inscrire ici 5 à 10 mots clés]

ABSTRACT

Many species are not migrating fast enough to keep pace with the rapidly changing climate. Trees are well known to experience long time lags in their migration responses because they are sessile, long-lived and have a relatively short dispersal ability. Actual approaches to forecast range shifts under climate change, such as Species Distribution Models, cannot account for the particularities of forest ecosystems because they assume infinite dispersal and instantaneous response to climate change. Here, we propose a new modelling approach based on metapopulation theory to account for dispersal limitations, biotic interactions and the demography of the temperate forest. Our objective is to assess if the North-Eastern American temperate forest will be able to track its climatic optimum by the end of this century. Transitions among states are calibrated from several long-term forest plots surveys from United States and Canada. We find that even if standard species distribution models would predict a northward shift of the temperate forest distribution of 328 ± 28.4 km, the temperate forest will barely move 14 ± 2.0 km into the boreal forest at the end of this century. We also find that most of the expected transitions will be the conversion from mixed to pure temperate stands. A comparison with an infinite dispersal scenario reveals that biotic interactions and stand replacement dynamics are the most significant factors limiting migration rate of forest trees. We conclude that the temperate forest has a low resilience to climate change because of their low demography and competitive interactions with resident trees.

Keywords : [Inscrire ici 5 à 10 mots clés]

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	vi
AVANT-PROPOS	vii
RÉSUMÉ	viii
ABSTRACT	ix
TABLE DES MATIÈRES	x
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
MISE EN CONTEXTE	1
ÉTAT DES CONNAISSANCES	2
ARTICLE 1	
LA DÉMOGRAPHIE, UNE CONTRAINTE À L'EXPANSION DE LA FORÊT TEMPÉRÉE VERS LE NORD	3
1.1 Résumé en français du premier article	3
1.2 Slow demography constrains the North-Eastern Temperate Forest expansion under Climate Change	6
CONCLUSION GÉNÉRALE	7
RÉFÉRENCES	8

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

MISE EN CONTEXTE

Depuis l'ère industrielle, la forêt du Québec méridionale est en constante évolution (Arsenault) ; le paysage forestier tel que nous le connaissons aujourd'hui pourrait connaître de profondes modifications d'ici la fin du XXI^e siècle. Ce paysage est occupé en grande majorité par la forêt tempérée qui couvre une superficie de 209 700 km² (MFFP, 2015). Cette forêt peut ainsi être désignée comme la forêt habitée du Québec considérant qu'elle se retrouve dans la zone la plus densément peuplée du Québec (Doyon). On y retrouve une multitude et une diversité d'activités socio-économiques tels que le tourisme, la chasse et l'acériculture et le prélèvement sylvicole. Au Québec, l'industrie forestière et l'acériculture génèrent XX et XX de dollars respectivement pour un total de XX millions d'emplois en 2015 (MFFP, Stats). La prospérité de ces activités repose sur l'intégrité écologique de ce biome forestier régionale. Sa gestion est donc primordiale, mais constitue un véritable défi de par la diversité des acteurs socio-économique, certains enjeux écologiques et les attentes de la société. Ce sont ces mêmes attentes qui ont contribué à l'adoption en XXXX d'un plan d'aménagement écosystémique visant à maintenir la diversité biologique et la viabilité de cet écosystème (MFFP,).

Depuis maintenant plusieurs années, la forêt tempérée est confrontée à de nombreux enjeux écologiques tels que les problématiques d'enfeuillement, la raréfaction de certaines essences ou envahissement par d'autres, la simplification des structures internes des peuplements (Varady-Szabo). Aujourd'hui, la forêt tempérée nordique doit faire face à une nouvelle problématique qui est celle des changements climatiques. Plusieurs enjeux écologiques majeurs découlent de cet problématique pour les aménagistes : (1) des modifications dans la composition de la régénération post-perturbation ; (2) une modulation de la productivité forestière chez certaines espèces ; (3) une modification du régime de perturbation (p.ex.

épidémies, verglas, chablis) ; puis enfin (4) des changements dans la répartition des espèces. Ce mémoire porte sur ce quatrième volet en s'intéressant à la biogéographie et la dynamique de la communauté de la forêt tempérée nordique dans ce contexte de changements climatiques (c.a.d. son écotone).

CADRE CONCEPTUEL

La biosphère a déjà connu plusieurs épisodes de changements climatiques. L'étude des registres polliniques démontrent que ces fluctuations climatiques passées ont engendré des contractions et expansions dans l'aire de distribution des espèces (e.g., Davis and Shaw 2001). Aujourd'hui, l'effet des changements climatiques de ce siècle est déjà observable sur la diversité végétale et animale (Parmesan and Yohe 2003 ; Walther et al. 2002). Considérant l'ampleur et la vitesse des changements climatiques prédis pour le XXI^e siècle (IPCC, 2015), la forêt tempérée nordique sera-t-elle en mesure de déplacer son aire de distribution assez rapidement pour suivre son enveloppe climatique ?

ARTICLE 1

LA DÉMOGRAPHIE, UNE CONTRAINTE À L'EXPANSION DE LA FORÊT TEMPÉRÉE VERS LE NORD

1.1 Résumé en français du premier article

De nombreuses espèces ne migrent pas assez vite pour suivre la rapidité des changements climatiques. Les arbres sont bien connus pour éprouver de longs délais dans leurs réponses au climat parce qu'ils sont sessiles, possèdent une forte longévité et disposent de faible capacité de dispersion. Les approches actuelles pour prédire l'aire de répartition future des espèces, telles que les modèles d'enveloppe climatique, ne peuvent pas tenir compte de ces particularités propres aux écosystèmes forestiers, car ils assument une dispersion infinie et une réponse instantanée aux changements climatiques. Nous proposons une nouvelle approche de modélisation basée sur la théorie des métapopulations pour tenir compte de cette capacité limitée de dispersion, des interactions biotiques et de la démographie propre à la forêt tempérée nordique du nord-est de l'Amérique du Nord. Notre objectif est d'évaluer si ce biome forestier sera en mesure de suivre sa niche climatique d'ici la fin de ce siècle. Nous avons effectué des simulations de l'écotone entre la forêt boréale et tempérée en utilisant un modèle d'états et de transitions (STM), dans lequel les communautés forestières sont classées dans 4 états: boréales, tempérées, mélangées et en régénération après une perturbation. Les transitions entre les états sont calibrées à partir des inventaires des parcelles permanentes présents aux États-Unis et au Canada. Les résultats des simulations du modèle indiquent que la forêt tempérée se déplacera seulement de $14 \pm 2,0$ km alors qu'un modèle de distribution d'espèces standard prédit un déplacement de $238,79 \pm 34,24$ km. Les simulations de l'écotone forestier mettent également en évidence que la majorité des transitions attendues seront une conversion des peuplements mixtes vers des peuplements purement décidus.

L'utilisation du modèle avec un scénario de dispersion infinie révèle que les interactions biotiques et la démographie sont les facteurs les plus importants qui limitent la capacité d'expansion du biome de la forêt tempérée. En conclusion, la forêt tempérée possède une faible résilience au changement climatique en raison de sa lente démographie et des fortes interactions compétitives avec les espèces boréales.

Ce premier article, intitulé “*Slow demography constrains the North-Eastern Temperate Forest expansion under Climate Change*”, fut corédigé par moi-même ainsi que mon Professeur Dominique Gravel et mes deux cosuperviseurs, Matthew Talutto (Ph.D) et Isabelle Boulangeat (Ph.D). L'article présenté sera soumis à “*Global Change Biologie*” pour évaluation par mes pairs à la fin de l'été 2016. Cet article constitue l'un des volets du projet stratégique QUICC-FOR, financé par le CRSNG, qui vise à cartographier et quantifier les conséquences des changements climatiques sur les forêts de l'Est de l'Amérique du Nord. Ma contribution en tant qu'auteur se résume en cinq points: (i) effectuer un état de la littérature; (ii) conceptualiser le modèle et l'implémenter grâce au langage de programmation C; (iii) créer une base de données nécessaire à la calibration et la validation du modèle; (iv) effectuer le post-traitement et l'analyse des simulations; (v) rédiger l'article. Dominique Gravel est à l'origine de l'idée du projet et a aidé à la conceptualisation, la validation du modèle et la révision du manuscrit. Matthew Talluto est responsable de la calibration bayésienne avec la méthode MCMC (*Monte Carlo Markov Chain*). Il a également contribué à l'implémentation du modèle en C ainsi qu'à la révision du manuscrit. Isabelle Boulangeat est responsable de l'estimation des paramètres par maximum de vraisemblance nécessaire à l'initialisation du MCMC. Elle a également contribué à la révision du manuscrit. L'ensemble de mon équipe d'encadrement a fourni une assistance technique inestimable dans la plupart des étapes scientifiques nécessaires à l'obtention de ces résultats.

Les résultats présentés ici reposent sur les paramètres issus la calibration par maximum de vraisemblance. De nouvelles simulations vont être amorcées en utilisant la distribution postérieure du MCMC afin d'obtenir une meilleure estimation de l'incertitude dans les pro-

jections. Les résultats de cet article ont été présentés à deux congrès internationaux et deux congrès provinciaux sous forme d'une affiche et d'une conférence. La conférence s'intitulait "*Difficult migration of temperate tree species in boreal forest under climate change?*", présenté au 9^e colloque du Centre d'étude de la Forêt (CEF) en avril 2015 et au 7^e congrès eCANUSA sur les sciences forestières en octobre 2014. Enfin, l'affiche portait le titre "*A state transition model to investigate what constrains the northward migration of the temperate forest*" et a fait l'objet d'une présentation au colloque du Centre des sciences de la biodiversité du Québec (CSBQ) en octobre 2015 et au 9^e congrès IALE en écologie du paysage en juillet 2015. L'ensemble de ces travaux peuvent être téléchargés à partir de mon site internet personnel (<http://steveviss.github.io/paper/>). En parallèle à cette maîtrise, je me suis impliqué à titre de coauteur dans l'un des chapitres de la thèse de Christian Marchese (UQAR) portant sur la phénologie du phytoplancton dans la région arctique de la mer de Baffin. Cette collaboration a aboutie à un article intitulé "*Changes in phytoplankton bloom phenology in the NOW polynya region: a response to changing environmental conditions*", soumis en mars 2016 dans la revue *Polar Biology*.

1.2 Slow demography constrains the North-Eastern Temperate Forest expansion under Climate Change

AUTHORSHIP

CONCLUSION GÉNÉRALE

[C'est dans cette section qu'est mise en évidence la portée de l'étude ainsi que les liens entre les articles ou autres textes et une ouverture sur les perspectives de recherche dans le domaine concerné. On y fait état des limites de la recherche et on y propose, le cas échéant, des pistes nouvelles pour de futures recherches ou des façons de développer de nouvelles applications. La conclusion ne doit pas présenter de nouveaux résultats ni de nouvelles interprétations. Elle doit être rédigée de manière à faire ressortir la cohérence de la démarche.]

RÉFÉRENCES