

CAHIER DES CONFÉRENCES

6e rencontre annuelle du
Laboratoire International de Recherche sur les Forêts Froides

Édition en distanciel

Jeudi 12 novembre 2026

-

8h30 (Québec) / 14h30 (France, Maroc)

Mot d'accueil

Chères participantes, chers participants,

C'est avec un grand plaisir que nous vous accueillons à la 6e rencontre annuelle du Laboratoire International de Recherche sur les Forêts Froides. Après Québec (2021), Besançon (2022), Duchesnay (2023), Ifrane (2024) et Pessamit (2025), notre rencontre se tient cette année entièrement en ligne. Ce format nous permet de réunir, des deux côtés de l'Atlantique et au-delà, les membres étudiant·e·s, chercheur·e·s, professionnel·le·s et partenaires du réseau, sans les contraintes liées aux déplacements, et d'ouvrir plus largement nos échanges.

Ce cahier rassemble les résumés des onze présentations du programme, regroupées en trois sessions thématiques :

1. ***Feu, perturbations et dynamique forestière***
2. ***Carbone forestier et sols***
3. ***Biogéographie et modélisation***

Ces trois sessions couvrent une grande diversité d'échelles et d'approches (paléoécologie, dendrochronologie, isotopes stables, LiDAR, tomodensitométrie, génétique des paysages, modélisation mathématique) et illustrent la richesse des questions qui animent l'étude des forêts froides, du Québec jusqu'au Maroc.

Nous vous invitons à poser vos questions, à réagir et à prolonger les échanges au-delà des présentations : c'est de ce dialogue entre disciplines et entre équipes que naissent les collaborations qui font la force de notre réseau.

Nous remercions chaleureusement l'ensemble des présentatrices et présentateurs pour leurs contributions, ainsi que toutes les personnes qui ont rendu possible l'organisation de cette édition.

Bonne rencontre à toutes et à tous !

Le comité d'organisation

Informations pratiques

Déroulement de la rencontre

La rencontre se déroule entièrement en ligne le jeudi 12 novembre 2026, sur la plateforme Zoom. Le lien de connexion est le suivant :
https://uqat.zoom.us/j/87391064695?pwd=USL1iajAGx4Ek7uonPabV8lvuT72aC.1

Chaque présentation orale durera maximum **12 minutes**, suivies de **5 minutes de questions**. Les heures indiquées sont celles du Québec ; pour les participant·e·s en France et au Maroc, pensez à tenir compte du décalage horaire (6 heures de décalage pour les deux pays).

Consignes aux présentatrices et présentateurs

- Connectez-vous au moins 10 minutes avant le début de votre session pour tester votre micro, votre caméra et le partage d'écran.
- Merci de respecter le temps imparti pour que les échanges puissent avoir lieu.

Consignes aux participantes et participants

- Renommez-vous sous la forme « Prénom Nom » afin de faciliter les échanges.
- Gardez votre micro coupé pendant les présentations.
- Posez vos questions dans le clavardage ou levez la main virtuellement ; la personne qui modère les relaiera aux présentateur·rice·s.
- L'activation de la caméra est encouragée pendant les périodes de discussion.

Contacts

Coordination du Laboratoire IRP Forêts Froides

Jonathan Lesven – jonathan.lesven@uqat.ca

Dorian Gaboriau – dorian.gaboriau@uqat.ca

Sommaire

8h30 – 8h45 · Mot d'ouverture
Adam Ali, directeur du Laboratoire

Session 1 – Feu, perturbations et dynamique forestière **5**

8h45 – 9h02 · Les érablières du sud du Québec ont-elles été affectées par le feu depuis leur origine il y a 9500 ans? 6
Laurie-Anne Chabot

9h02 – 9h19 · La diminution de la fréquence des feux entraîne le déclin des forêts mixtes de pins : étude de cas au parc national d'Opémican, Québec 7
Jonathan A. Lesven et Theodore Stathopoulos

9h19 – 9h36 · Comparaison des trajectoires structurelles et compositionnelles post-perturbation après feu et récolte dans la forêt boréale du Québec 8
Maxence Soubeyrand

9h36 – 9h53 · Widespread ecosystem shifts and carbon stock depletion during the Little Ice Age 9
Étienne Boucher

9h53 – 10h10 · Régime de feux et ouverture du paysage au cours de l'Holocène au sud de la toundra forestière (nord du Québec) 10
Noé Moroy

10h10 – 10h27 · Pause

Session 2 – Carbone forestier et sols **11**

10h27 – 10h44 · Croissance des arbres et assimilation du carbone : un couplage réellement absent ou simplement difficile à détecter? 12
Martin P. Girardin

10h44 – 11h01 · Impacts des éruptions volcaniques tropicales sur l'efficience intrinsèque d'utilisation de l'eau des forêts boréales du Québec au cours des deux derniers millénaires 13
Iran Zaré

11h01 – 11h18 · La tomodensitométrie par rayons X : une alternative non destructive pour mesurer la densité apparente des horizons organiques des pessières noires 14
Natan Huberson

11h18 – 11h35 · Séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers marocains : synthèse des stocks de carbone de la biomasse et du sol pour l'adaptation au changement climatique et son atténuation 15
Mohamed El Mderssa

Session 3 – Biogéographie et modélisation **16**

11h35 – 11h52 · Dans le sillage des glaces : l'héritage de la déglaciation sur la biodiversité arctique-alpine des Chic-Chocs 17
Cassandra Rioux-Couture

11h52 – 12h09 · A reaction-diffusion equation model to shed light on competition between boreal and temperate forests 18
Sully Mak

SESSION 1

Feu, perturbations et dynamique forestière

Les érablières du sud du Québec ont-elles été affectées par le feu depuis leur origine il y a 9500 ans?
Laurie-Anne Chabot

La diminution de la fréquence des feux entraîne le déclin des forêts mixtes de pins : étude de cas au parc national d'Opémican, Québec
Jonathan A. Lesven et Theodore Stathopoulos

Comparaison des trajectoires structurelles et compositionnelles post-perturbation après feu et récolte dans la forêt boréale du Québec
Maxence Soubeyrand

Widespread ecosystem shifts and carbon stock depletion during the Little Ice Age
Étienne Boucher

Régime de feux et ouverture du paysage au cours de l'Holocène au sud de la toundra forestière (nord du Québec)
Noé Moroy

Les érablières du sud du Québec ont-elles été affectées par le feu depuis leur origine il y a 9500 ans?

Laurie-Anne Chabot[1], Pierre Grondin[2], Marie-Hélène Brice[3], Pierre-Luc Couillard[4], Martin Lavoie[1].
[1] Université Laval, Département de géographie et Centre d'études nordiques
[2] Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et des Forêts
[3] Université de Montréal, Département de sciences biologiques et Institut de recherche en biologie végétale
[4] Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Les forêts tempérées sont généralement perçues comme des écosystèmes stables régis surtout par une dynamique de trouées de petite superficie issue de perturbations naturelles de faible sévérité comme les renversements d'arbres et les chablis. Toutefois, des perturbations plus sévères peuvent aussi jouer un rôle structurant dans ces forêts. Or, comme le feu est souvent considéré comme une perturbation marginale dans les érablières du sud du Québec, l'histoire postglaciaire des feux de ces forêts demeure peu documentée, particulièrement à l'échelle locale. Nous nous sommes donc posé les questions suivantes : les érablières ont-elles brûlé depuis la déglaciation et, si oui, à quelle fréquence? Quels ont été les impacts sur la végétation? Les objectifs de cette étude étaient d'abord de reconstituer les événements de feu survenus au sein d'un peuplement composé aujourd'hui de chêne rouge, d'érable à sucre et de hêtre à grandes feuilles au mont Saint-Bruno, une colline montérégienne de la plaine des basses-terres du Saint-Laurent dans le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer cordiforme. Pour ce faire, une analyse des charbons de bois préservés dans le sol minéral a été réalisée. Au total, 387 charbons ont fait l'objet d'une identification botanique pour obtenir un portrait de la composition passée des peuplements, et 50 d'entre eux ont été datés pour établir la chronologie des feux. Ensuite, la relation à long terme entre les feux et la végétation a été examinée à l'aide d'un diagramme pollinique disponible pour cette colline. La présente étude sera étendue au mont Saint-Hilaire, une colline montérégienne voisine, ainsi qu'à la plaine environnante. À terme, les résultats obtenus permettront d'évaluer la variabilité régionale des régimes de feu dans le sud du Québec et de mieux comprendre le rôle de cette perturbation dans le développement des forêts de référence associées aux érablières à hêtre et à pruche.

Mots-clés : Feu, Paléoécologie, Charbons de bois, Écologie forestière, Érablière.

La diminution de la fréquence des feux entraîne le déclin des forêts mixtes de pins : étude de cas au parc national d'Opémican, Québec

Jonathan A. Lesven[1], Theodore Stathopoulos[1], Igor Drobyshev[2], Alain Leduc[1,3], Dorian M. Gaboriau[1], Daniela Robles[1,2], Yves Bergeron[1,3].
[1] Institut de recherche sur les forêts, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445 Boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, QC, J9X 5E4, Canada
[2] Southern Swedish Forest Research Centre, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden
[3] Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal, CP 8888, Succursale Centre-Ville, Montréal, QC H3C 3P8, Canada

Les forêts mixtes composées de pins blancs (*Pinus strobus* L.) et de pins rouges (*Pinus resinosa* Ait.) du sud du Québec se sont historiquement maintenues sous des feux de sévérité variable, favorisant la régénération des pins en limitant la compétition des espèces tolérantes à l'ombre. La suppression des incendies, l'exploitation forestière depuis le XIXe siècle et les changements climatiques ont toutefois modifié le régime des feux et contribué au déclin des pins. Les effets de la baisse d'activité des feux sur leur régénération et leur dynamique future demeurent mal compris. Nous avons daté 144 cicatrices de feu sur des pins rouges de neuf sites du parc national d'Opémican, à la jonction de l'érablière et de la sapinière à bouleau jaune. Nous avons aussi caractérisé la structure et la composition de 51 peuplements couvrant un large gradient de dominance du pin, puis construit, à partir des gaules sous les arbres dominants, trois modèles probabilistes de remplacement des arbres pour projeter la succession forestière. La chronologie révèle 48 années de feu entre 1611 et 1944 (intervalle de retour moyen de 10 à 40 ans selon les sites), suivies d'une absence complète de cicatrices depuis. Ces feux de surface de faible à moyenne sévérité étaient étroitement associés à l'établissement des pins : 79 % des pins rouges datés se sont établis dans les dix années suivant un feu. Aujourd'hui, malgré leur dominance dans la canopée, la régénération des pins est presque absente et laisse place au sapin baumier (*Abies balsamea*), à l'érable rouge (*Acer rubrum*) et à l'érable à sucre (*Acer saccharum*). Les trois modèles convergent vers un déclin marqué des pins et une progression de ces espèces tolérantes à l'ombre. La suppression prolongée des feux compromet donc le renouvellement des pins ; leur maintien nécessite le rétablissement de feux de faible à moyenne sévérité, notamment par des brûlages dirigés.

Mots-clés : Régime de feux, Pin blanc, Pin rouge, Régénération forestière, Dynamique successionnelle.

Comparaison des trajectoires structurelles et compositionnelles post-perturbation après feu et récolte dans la forêt boréale du Québec

Maxence Soubeyrand[1], Victor Danneyrolles[1], Yan Boucher[1].
[1] *Université du Québec à Chicoutimi*

Les forêts boréales sont de plus en plus façonnées par l'action combinée des perturbations naturelles et anthropiques. Dans l'est du Canada, les feux de forêt et les coupes à blanc constituent les deux principales perturbations de remplacement de peuplement, mais elles diffèrent fortement par leurs mécanismes écologiques et les legs qu'elles laissent dans les écosystèmes. Déterminer si les peuplements récoltés suivent des trajectoires successionnelles comparables à celles initiées par le feu est donc essentiel pour comprendre la dynamique à long terme des forêts et évaluer les approches d'aménagement écosystémique. Dans cette étude, nous avons examiné les trajectoires structurelles et compositionnelles suivant les feux et les coupes à l'échelle de la forêt boréale québécoise à l'aide de bases de données provinciales sur les perturbations, de données LiDAR aéroportées et d'inventaires forestiers extensifs. Nous avons reconstruit des chronoséquences couvrant plus d'un siècle de développement forestier dans quatre végétations potentielles. Nous avons utilisé des métriques de hauteur de canopée dérivées du LiDAR pour caractériser le rétablissement structural et les surfaces terrières spécifiques aux essences pour évaluer les dynamiques compositionnelles. Nous avons ensuite identifié différentes trajectoires successionnelles à l'aide d'analyses multivariées de classification. La hauteur de la canopée augmentait avec l'âge des peuplements dans toutes les végétations potentielles et suivait généralement des trajectoires similaires dans les peuplements issus du feu et de la coupe, indiquant des patrons de rétablissement structural comparables. Les peuplements issus du feu présentaient toutefois une plus grande hétérogénéité structurale, particulièrement au début de la succession. En revanche, l'origine de la perturbation influençait fortement la composition forestière. Les peuplements issus du feu étaient plus fréquemment dominés par l'épinette noire et le pin gris, tandis que les peuplements issus de la coupe contenaient une plus forte proportion de sapin baumier et, dans certains cas, d'essences feuillues. Nous avons identifié huit trajectoires compositionnelles distinctes, démontrant que plusieurs voies successionnelles peuvent coexister au sein d'une même végétation potentielle. Nos résultats montrent que le rétablissement structural seul peut masquer d'importantes différences écologiques entre les types de perturbation. Bien que les feux et les coupes conduisent souvent à un développement similaire de la canopée, ils peuvent engendrer des différences persistantes dans la composition des peuplements et les dynamiques successionnelles. Ces résultats soulignent l'importance de considérer conjointement les indicateurs structuraux et compositionnels pour évaluer la résilience des forêts boréales et orienter leur gestion dans un contexte de changements globaux.

Mots-clés : Forêt boréale, Feu, Coupe, LiDAR, Chronoséquence.

Widespread ecosystem shifts and carbon stock depletion during the Little Ice Age

Étienne Boucher[1], Dominique Arseneault[2], Jeanne Vermette[1], David Querry[2], Mathilde Pfister[2].
[1] *UQAM-Geotop*
[2] *UQAR-Centre d'études nordiques*

The fate of ecosystem services provided by Eastern Canada's taiga–tundra transition is tightly linked to complex, yet poorly understood, interactions among climate variability, fire history, and forest structure. This study investigates how present-day forest attributes and services reflect such long-term ecological trajectories over the past millennia. We combined (i) a novel, two-millennia-long tree-ring-based reconstruction of growing degree days (GDD), (ii) a large-scale semi-random forest inventory of current forest attributes (structure, composition, and carbon stocks), and (iii) radiocarbon and dendrochronological estimates of the time elapsed since the last fire. Our results suggest that most forest stands that burned after ~1450 CE, during a period when GDD values fell below 800, regenerated to more open stands following fire. Forest that burned during the last 200 years systematically shifted to treeless tundra. This led to substantial depletion of both above- and belowground carbon stocks across the region. In contrast, stands that escaped fire over the past 500 years remain carbon-rich ecosystems and serve as refugia for pyrophobic species such as balsam fir. In the absence of the Little Ice Age, forests in this region would thus likely be denser, more carbon-rich, and more diverse than they are today.

Régime de feux et ouverture du paysage au cours de l'Holocène au sud de la toundra forestière (nord du Québec)

Noé Morov.

L'ouverture du couvert forestier à la limite sud de la toundra est une composante majeure de la réponse des écosystèmes boréaux aux changements climatiques. Cette étude teste l'hypothèse selon laquelle l'ouverture du paysage observée durant le Néoglaciaire résulte de feux récurrents. Nous avons reconstitué l'histoire des feux dans six lacs de la zone de transition entre la toundra forestière et la pessière à lichen, depuis le début de l'accumulation sédimentaire (~7000-6000 ans cal. BP), par l'analyse des macro-charbons. La décomposition du signal des charbons permet de caractériser différents paramètres du régime de feux : la fréquence et la biomasse brûlée. Ces reconstitutions sont couplées à des analyses polliniques réalisées sur trois lacs, où l'ouverture du milieu est évaluée à partir des pourcentages de pollen non arborescent ou spécifiques de milieux ouverts (Ericaceae, Cyperaceae, Poaceae, *Alnus*, *Betula*) et du ratio entre *Picea* et ces taxons.

Les résultats préliminaires indiquent un changement durant la transition néoglaciaire, caractérisé par une augmentation de la fréquence des feux et de la biomasse brûlée, conjointement à une diminution des taxons caractéristiques des milieux fermés. Les lacs situés en contexte ouvert semblent toutefois indiquer des changements plus tardifs que les sites en milieu fermé de la région.

Cette approche vise à identifier le paramètre qui constitue le principal moteur, à situer chronologiquement les éventuelles ouvertures du paysage à l'échelle régionale au sud de la toundra, et à préciser le rôle du feu dans l'ouverture des paysages nordiques.

SESSION 2

Carbone forestier et sols

Croissance des arbres et assimilation du carbone : un couplage réellement absent ou simplement difficile à détecter?

Martin P. Girardin

Impacts des éruptions volcaniques tropicales sur l'efficience intrinsèque d'utilisation de l'eau des forêts boréales du Québec au cours des deux derniers millénaires

Iran Zaré

La tomodensitométrie par rayons X : une alternative non destructive pour mesurer la densité apparente des horizons organiques des pessières noires

Natan Huberson

Séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers marocains : synthèse des stocks de carbone de la biomasse et du sol pour l'adaptation au changement climatique et son atténuation

Mohamed El Mderssa

Croissance des arbres et assimilation du carbone : un couplage réellement absent ou simplement difficile à détecter?

Martin P. Girardin[1], Juha M. Metsaranta[2].
[1] Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Québec (Québec), Canada
[2] Centre de foresterie du Nord, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Edmonton (Alberta), Canada

La productivité primaire brute (PPB) est largement considérée comme un moteur de la croissance annuelle des arbres, une hypothèse intégrée à de nombreux modèles d'écosystèmes terrestres. Pourtant, les études empiriques menées dans les forêts boréales ont souvent mis en évidence un couplage faible ou incohérent entre la PPB estimée par covariance des turbulences (eddy covariance) et la croissance des arbres, un résultat généralement attribué à des contraintes physiologiques ou à des discordances d'échelle entre les mesures. Dans cette étude, nous réexaminons cette apparente contradiction en combinant des séries harmonisées de PPB provenant de six sites boréaux canadiens instrumentés par tours à flux avec des données d'accroissement basal annuel issues d'un jeu de données continental regroupant plus de 40 000 arbres répartis sur plus de 4 500 sites. Afin de tenir compte des questions d'échelle et de représentativité, nous avons combiné des indicateurs de PPB physiologiquement cohérents avec des analyses spatiales de champs de corrélation et des agrégations de données dendrochronologiques fondées sur des rayons d'échantillonnage variables, complétées par des modèles mixtes à l'échelle de l'arbre individuel. Les résultats montrent que cinq des six sites à flux présentent des corrélations positives significatives entre les anomalies annuelles de croissance et la PPB (r = 0,69 à 0,83), alors qu'un site de pessière noire (*Picea mariana*) situé dans le nord ne présente aucune relation significative. Les analyses spatiales révèlent que les anomalies de croissance et la PPB partagent des structures de covariance régionales cohérentes s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres. Les modèles mixtes indiquent que l'intensité de cette covariance dépend à la fois de l'échelle d'échantillonnage et de l'hétérogénéité biologique des peuplements. En particulier, l'espèce, la taille des arbres et leur proximité aux tours à flux modulent significativement la sensibilité de la croissance à la PPB. Pris ensemble, ces résultats permettent de réconcilier des observations auparavant contradictoires en montrant que la détection du couplage entre la PPB et la croissance dépend de façon critique de l'adéquation des échelles spatiales et de la conception de l'échantillonnage. Ils apportent également un soutien empirique aux approches de modélisation qui relient la variabilité interannuelle de la croissance des arbres à l'absorption de carbone par les écosystèmes.

Mots-clés : Productivité primaire brute (PPB), Croissance radiale des arbres, Dynamique source-puits, Allocation du carbone, Forêts boréales.

Impacts des éruptions volcaniques tropicales sur l'efficience intrinsèque d'utilisation de l'eau des forêts boréales du Québec au cours des deux derniers millénaires

Iran Zaré[1,2], Étienne Boucher[1,2], Dominique Arseneault[3,4].
[1] *GEOTOP*
[2] *Département de géographie, Université du Québec à Montréal (UQAM)*
[3] *Centre d'études nordiques (CEN)*
[4] *Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski (UQAR)*

Les grandes éruptions volcaniques tropicales constituent des forçages climatiques naturels susceptibles de modifier, à l'échelle de quelques années, les conditions de croissance des forêts boréales. En injectant des aérosols dans la stratosphère, elles réduisent temporairement le rayonnement solaire incident, favorisent une plus grande proportion de lumière diffuse et entraînent généralement un refroidissement de la surface. Ces perturbations sont susceptibles d'affecter simultanément l'assimilation du carbone et la régulation stomatique. Toutefois, leurs effets sur les échanges de CO_2 et de H_2O à l'interface végétation-atmosphère, et donc sur l'efficience intrinsèque d'utilisation de l'eau (iWUE), restent peu documentés dans les forêts boréales québécoises.

Cette étude vise à reconstituer la variabilité interannuelle de l'iWUE de pessières boréales du nord du Québec au cours des deux derniers millénaires et à évaluer sa réponse à neuf périodes caractérisées par de fortes éruptions volcaniques tropicales. Des séries de cernes annuels de bois subfossile d'épinette noire (*Picea mariana*) provenant de la région du réservoir de Caniapiscau ont été interdatées, puis soumises à une extraction d'α-cellulose. Les rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}C$) mesurés sur la cellulose sont utilisés pour estimer l'iWUE, selon le modèle de discrimination isotopique du carbone.

Les résultats présentés couvrent les neuf périodes volcaniques sélectionnées, dont la séquence 1809-1815 associée notamment à l'éruption du Tambora. Les analyses permettent d'examiner les anomalies d'iWUE au cours des années précédant et suivant les éruptions, ainsi que leur variabilité entre les sites et les événements. Une première analyse de la séquence 1809-1815 révèle une variabilité interannuelle marquée de l'iWUE, incluant une diminution au cours des années suivant l'éruption du Tambora. L'analyse de l'ensemble des périodes volcaniques permettra d'évaluer la cohérence de cette réponse et de distinguer l'influence potentielle du forçage volcanique de la variabilité climatique interannuelle.

Cette approche fournit de nouvelles contraintes sur la sensibilité physiologique des forêts boréales aux perturbations volcaniques et contribue à mieux interpréter les mécanismes par lesquels les changements du rayonnement, de la température et de l'humidité influencent les échanges carbone-eau à l'échelle interannuelle.

Mots-clés : Éruptions volcaniques tropicales, iWUE, Forêts boréales, Isotopes stables du carbone, Dendrochronologie.

La tomodensitométrie par rayons X : une alternative non destructive pour mesurer la densité apparente des horizons organiques des pessières noires

Natan Huberson[1,2,3], Étienne Boucher[1,2], Lucas Villeneuve[2], Pierre Francus[1,4], Robert Schneider[3,5].
[1] *GEOTOP - Centre de recherche sur la dynamique du système Terre*
[2] *UQAM - Université du Québec à Montréal*
[3] *CEF – Centre d'Étude de la Forêt*
[4] *INRS ETE - Institut National de la Recherche Scientifique - Centre Eau Terre Environnement*
[5] *UQAR - Université du Québec à Rimouski*

Les sols des forêts boréales jouent un rôle important dans les stocks de carbone, notamment au sein de leur horizon organique. L'estimation précise de ces stocks requiert de connaître le volume et la densité apparente de cet horizon, qui présente une importante variabilité spatiale et stratigraphique. Si l'épaisseur de l'horizon organique est facile à mesurer sur le terrain, sa densité apparente reste laborieuse et coûteuse à obtenir à fine résolution stratigraphique. La tomodensitométrie (TDM) par rayons X pourrait constituer une alternative non destructive, au moins aussi performante que la gravimétrie (masse sèche divisée par le volume initial humide), tout en offrant un gain de temps appréciable et une résolution inférieure au millimètre. Cette méthode repose sur la relation entre les unités Hounsfield (HU) et la densité apparente. À notre connaissance, elle a surtout été éprouvée sur des tourbes très riches en matière organique, car la fraction minérale pourrait modifier cette relation. Certains minéraux atténuent davantage les rayons X que la matière organique et donnent des valeurs de HU différentes pour une densité apparente similaire. Pour tester cette hypothèse, nous avons échantillonné une centaine de placettes de pessières noires à travers le Québec, sur des sols bien à très mal drainés. Nous comparons les densités apparentes obtenues par gravimétrie et par TDM selon les niveaux de drainage et de décomposition, en contrôlant les proportions d'eau, de matière organique et de matière minérale. Les résultats préliminaires suggèrent que la TDM peut s'appliquer à une large gamme d'horizons organiques de sols forestiers.

Mots-clés : Hounsfield, Volumique, Biomasse, Carbone, Boréal.

Séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers marocains : synthèse des stocks de carbone de la biomasse et du sol pour l'adaptation au changement climatique et son atténuation

M. El Mderssa[1,3], M. El Malki[2], F. Malki[2], J. Ibijbijen[3].
[1] *Équipe « Biologie Appliquée à la Santé, l'Environnement et le Développement Durable », Faculté des Sciences Appliquées de Béni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc*
[2] *École Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI), Salé, Maroc*
[3] *Unité « Environnement et Valorisation des Ressources Microbiennes et Végétales », Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc*

Les forêts constituent des puits de carbone stratégiques : elles stockent plus de la moitié du carbone terrestre mondial dans les sols et la végétation. Le Maroc, avec la diversité de ses zones climatiques et sa forte vulnérabilité au changement climatique, s'appuie largement sur ses écosystèmes forestiers comme solution fondée sur la nature pour l'atténuation du climat, conformément à ses engagements au titre de l'Accord de Paris et de ses Contributions Déterminées au niveau National (CDN). Cette étude présente la première synthèse intégrée à l'échelle nationale des stocks de carbone de la biomasse et du carbone organique du sol (COS) dans les principaux écosystèmes forestiers du Maroc. Elle cible les essences forestières marocaines clés (*Quercus rotundifolia*, *Cedrus atlantica*, *Quercus suber*, *Tetraclinis articulata*, *Argania spinosa*). Les données extraites ont été harmonisées par type d'écosystème et interprétées au regard des principaux facteurs écologiques : substrat, bioclimat, structure des peuplements et niveau de dégradation. Les résultats révèlent une forte variabilité entre écosystèmes. Les forêts de cèdre de l'Atlas et de chêne zéen présentent les stocks moyens de carbone les plus élevés (respectivement 187,16 et 197,88 tC ha^{-1}), suivies du chêne vert (134,06 tC ha^{-1}), tandis que les subéraies affichent des valeurs comparativement plus faibles (76,08 tC ha^{-1}). Le carbone organique du sol apparaît systématiquement comme le réservoir de carbone dominant, en particulier dans les types forestiers méditerranéens et semi-arides. Replacées dans un contexte international, les valeurs marocaines concordent avec celles rapportées pour d'autres régions méditerranéennes et semi-arides. La synthèse montre en outre que la maturité des peuplements, les gradients bioclimatiques et la nature du substrat sont des déterminants majeurs de la capacité de puits de carbone, et que la dégradation forestière, causée par le surpâturage, le prélèvement de biomasse et le changement d'utilisation des terres, peut réduire les stocks de carbone de plus de 50 %. Ces résultats fournissent une base scientifique solide pour orienter les priorités de restauration forestière, les stratégies de gestion durable et la politique climatique au Maroc, tout en identifiant des lacunes méthodologiques qu'il conviendra de combler par de futures évaluations standardisées et fondées sur les données.

Mots-clés : Séquestration du carbone, Forêts marocaines, Carbone organique du sol, Atténuation du changement climatique, Gestion forestière durable.

SESSION 3

Biogéographie et modélisation

Dans le sillage des glaces : l'héritage de la déglaciation sur la biodiversité arctique-alpine des Chic-Chocs

Cassandra Rioux-Couture

A reaction-diffusion equation model to shed light on competition between boreal and temperate forests

Sully Mak

Dans le sillage des glaces : l'héritage de la déglaciation sur la biodiversité arctique-alpine des Chic-Chocs

Cassandra Rioux-Couture[1,2,3], Juliane Fisette[1,3], Luc Sirois[1,3], Guillaume de Lafontaine[1,2,3].
[1] *Université du Québec à Rimouski*
[2] *Chaire de recherche du Canada en biologie intégrative de la flore nordique*
[3] *Station d'études montagnardes des Chic-Chocs*

Notre compréhension de l'histoire biogéographique de la flore d'affinité arctique-alpine du massif des Chic-Chocs demeure limitée. Bien qu'une persistance locale au sein de refuges glaciaires ait d'abord été suggérée, des analyses plus récentes montrent que l'ensemble du massif aurait été recouvert de glace. La colonisation aurait alors suivi la déglaciation, débutant sur les sommets libérés plus hâtivement dans l'ouest avant de progresser vers l'est. Afin d'étudier cet héritage biogéographique postglaciaire sur la biodiversité floristique du massif, nous avons testé la relation spatio-temporelle entre la chronologie de déglaciation et les patrons de richesse spécifique ainsi que de structure et de diversité génétiques le long de l'axe ouest-est du massif.

Une revue de littérature combinée à un inventaire floristique contemporain a permis d'obtenir plus de 3400 occurrences d'espèces. Nous avons également génotypé ≥ 150 individus pour chacune des trois espèces arctiques-alpines étudiées, soit *Carex bigelowii*, *Arctous alpina* et *Salix uva-ursi*. Malgré une plus faible surface d'habitat, la richesse des espèces arctiques-alpines est plus élevée dans l'ouest que dans l'est du massif. Ce résultat semble partiellement associé à la chronologie de déglaciation, concordant avec une colonisation postglaciaire de l'ouest vers l'est. Toutefois, ce patron de diversité n'est pas systématiquement observé au sein du patrimoine génétique. Les analyses préliminaires montrent une structure génétique définie selon les secteurs pour *C. bigelowii* et *A. alpina*. Pour les trois espèces, certains sites se démarquent également par une différenciation modérée au sein des secteurs ouest et centre malgré leur proximité géographique. Contrairement à la diversité interspécifique, les patrons de structure génétique semblent davantage être associés à des processus d'isolement plus contemporains. Des analyses approfondies restent toutefois nécessaires afin de mieux comprendre les contributions respectives de la déglaciation, de la disponibilité de l'habitat et d'autres processus à l'échelle du paysage façonnant les patrons de structure et de diversité génétique.

Mots-clés : Biodiversité, Génétique des paysages, Écosystème montagnard, Flore arctique-alpine, Gaspésie.

A reaction-diffusion equation model to shed light on competition between boreal and temperate forests

Sully Mak[1], Guillaume Cantin[1], Benoît Delahaye[1].
[1] Nantes Université, Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, Centrale Nantes, CNRS UMR 6004, France

Understanding how forest ecosystems respond to megafires arising from climate change is a major challenge, as forests are well known to be an important reserve of carbon and biodiversity. In this paper, we present a new hybrid model that combines a continuous and deterministic mechanism governed by reaction-diffusion equations modeling the biological evolution of the forest, coupled with a discrete and probabilistic process reproducing the impact of forest fires. This original model allows us to study the competition and the ecological transitions between the temperate forest and the boreal forest. We prove that the hybrid model admits relevant equilibrium states of extinction, coexistence and invasion, and generates global solutions. We perform a complete stability analysis of the extinction equilibrium, establishing a non-trivial parameter regime where the deterministic component of the model is unstable, with a stabilization under the action of the probabilistic process. We show that well-chosen trajectories of the model can reach an invasion equilibrium where the temperate forest colonizes the boreal forest. We also prove that the model is able to reproduce spatial heterogeneity with the formation of patterns corresponding to enclaves of temperate forest within the boreal forest.

Mots-clés : Hybrid systems, Reaction-diffusion systems, Forest ecology, Modeling.