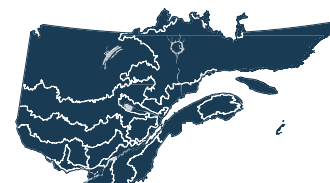




Un simulateur spatial pour mieux comprendre les effets des traitements sylvicoles

Par Emmanuel Duchateau¹, biol., Ph. D., Stéphane Tremblay¹, ing.f., M. Sc.,
et Marie-Eve Roy¹, ing.f., MBA



Territoires où les résultats s'appliquent.

Les modèles de croissance forestière prévoient les effets à long terme des traitements sylvicoles, sans toutefois tenir compte de la structure spatiale des peuplements. Or, la manière dont les arbres sont répartis dans l'espace influence le degré de compétition entre eux, la dynamique de la régénération et, par conséquent, l'évolution de la structure du peuplement. Cette répartition est souvent modifiée par les interventions sylvicoles, en particulier si elles impliquent une sélection ciblée des arbres à récolter. Un nouveau simulateur spatial a été conçu pour intégrer cette dimension. À partir d'un simple inventaire, il permet de générer des peuplements avec une structure spatiale réaliste et d'y appliquer virtuellement différents traitements sylvicoles ayant pour effet de modifier la structure spatiale.

Des modèles de croissance à la modélisation spatiale

Les modèles de croissance permettent de simuler la croissance, la mortalité et la régénération en fonction de variables comme le diamètre, la hauteur ou la densité, et ce, à partir de données non spatialisées. Cette simplification limite leur capacité à représenter certains traitements où la sélection des arbres s'effectue de manière spatialisée sur le terrain, comme les éclaircies par dégagement d'arbres élités² ou la création de trouées. Si la localisation précise des arbres demeure difficile à recueillir manuellement, les technologies récentes comme le lidar terrestre permettent d'obtenir cette information avec précision, ouvrant la voie à une modélisation spatiale plus fine.

Une étude a été menée dans des plantations d'épinette blanche de plus de 30 ans situées dans le Bas-Saint-Laurent. Ces plantations opérationnelles sont composées d'épinettes blanches, en plus d'une régénération naturelle abondante de sapins baumiers, d'épinettes blanches et de feuillus intolérants. Elles possèdent une certaine variabilité de composition et de structure : le sapin et les feuillus représentent jusqu'à 40 % de la surface terrière. Cinq ans avant la collecte des données, plusieurs variantes d'éclaircie commerciale y ont été appliquées, dont l'éclaircie d'arbres élités, l'éclaircie par le bas³ et la récolte ciblée du sapin⁴. Le lidar terrestre a permis de cartographier avec précision la position, l'essence et le diamètre à hauteur de poitrine de plus de 10 000 arbres, incluant les gaules (figure 1). Les interactions spatiales entre les individus ont été modélisées en fonction du diamètre, des essences et de la structure locale du peuplement. Les modèles obtenus ont ensuite été intégrés dans un simulateur spatial capable de reproduire des peuplements réalistes à partir d'un inventaire non spatialisé, avec ou sans intervention sylvicole. Ces premiers résultats ouvrent la voie à un raffinement progressif du simulateur à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles.

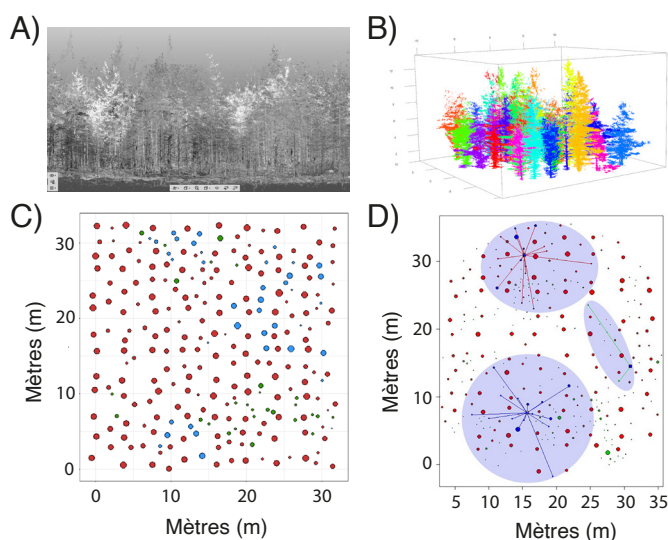


Figure 1. Étapes d'extraction et d'analyse de la distribution spatiale des arbres à partir de données lidar terrestre pour une placette-échantillon de 900 m². **A)** Nuage de points 3D issu du balayage du lidar terrestre. **B)** Résultat de la segmentation des individus à partir du nuage de points. **C)** Carte représentant la position de chaque arbre identifié, incluant l'essence (rond rouge = épinette blanche; rond bleu = sapin baumier et rond vert = feuillu). **D)** Exemple de détection d'agrégats de sapins baumiers : les arbres d'un même groupe sont reliés par des lignes de même couleur et les surfaces colorées facilitent la visualisation des agrégats.

Recréer la structure spatiale des peuplements

L'analyse des données récoltées a révélé des patrons globaux de distribution spatiale variables selon les essences : le sapin baumier et les feuillus intolérants présentaient des regroupements marqués, tandis que l'épinette blanche plantée affichait une disposition plus régulière. Pour reproduire ces structures dans des peuplements simulés, nous avons conçu un modèle spatial

¹ Ministère des Ressources naturelles et des Forêts.

² **Éclaircie d'arbres élités** : sélection et libération d'un arbre dominant en récoltant ses compétiteurs immédiats.

³ **Éclaircie par le bas** : récolte des plus petits arbres et des individus dominés pour favoriser les plus vigoureux.

⁴ **Récolte ciblée du sapin** : suppression sélective du sapin baumier pour limiter sa compétition ou favoriser d'autres essences.

qui positionne les arbres un par un, en tenant compte de leurs caractéristiques (essence, diamètre) ainsi que de la structure locale déjà simulée. Chaque nouvel arbre est placé en fonction de la distance et de l'orientation par rapport aux deux plus proches voisins pour reproduire des agencements réalistes. Des modèles distincts ont été ajustés pour chacun des trois groupes d'essences (épinette blanche, sapin baumier et feuillu). Le simulateur permet ainsi de modéliser les interactions spatiales entre arbres voisins et de générer des peuplements cohérents à partir d'un simple inventaire non spatial, puis d'y appliquer virtuellement différents traitements sylvicoles pour en évaluer les effets sur la structure spatiale.

Explorer l'effet des traitements sylvicoles sur la distribution spatiale

Les traitements sylvicoles appliqués dans les placettes ont permis de mettre en évidence leurs effets sur la distribution spatiale des arbres. Par exemple, certaines approches comme l'éclaircie d'arbres élites ou la récolte ciblée du sapin ont modifié les patrons d'agrégation, la composition locale ou l'espacement entre arbres. Ces effets ont été pris en compte dans la calibration du modèle, en intégrant les variantes d'éclaircie comme variables explicatives. Les simulations générées reflètent en partie ces différences de structure : le sapin baumier et les feuillus, naturellement plus agrégés, tendent à être moins regroupés dans les peuplements simulés où le traitement cible leur suppression. À l'inverse, l'épinette blanche conserve une distribution plus régulière dans l'ensemble des scénarios simulés, ce qui est cohérent avec le fait qu'elle résulte de plantation.

Pour tirer le plein potentiel du simulateur, notamment pour des traitements où la sélection spatiale des arbres est déterminante, comme les éclaircies par élite ou par trouées, l'approche consiste à générer d'abord un peuplement non traité spatialement explicite (figure 2A), puis à y appliquer virtuellement le traitement (figures 2B et 2C). Cette stratégie permet de reproduire fidèlement les choix faits sur le terrain et d'observer les effets directs sur la structure du

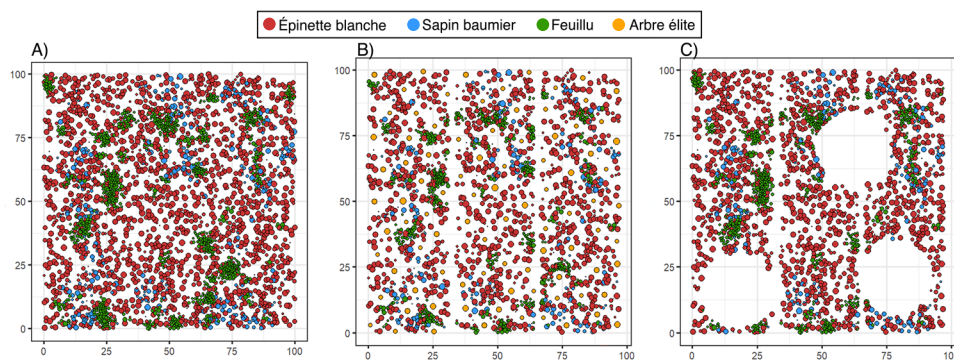


Figure 2. Simulation d'une placette de 1 ha (A) sans intervention forestière; (B) avec une éclaircie par dégagement de 3 m autour de 80 arbres élites (points orange); et (C) avec la création de trouées pour favoriser la régénération de certaines essences. Les lignes verticales sur les parcelles B et C représentent des chemins de débardage, qui influencent également la structure spatiale observée.

peuplement et sur la régénération. De plus, le simulateur permet d'étudier des effets localisés à l'échelle des arbres individuels, comme en bordure de trouée, près d'un semencier ou le long d'un chemin de débardage. À l'inverse, pour des traitements systématiques, comme le dégagement par le bas ou la suppression ciblée d'essences, la structure spatiale joue un rôle moins central et peut être modélisée de façon plus agrégée.

Vers une modélisation spatiale intégrée

C'est en couplant la simulation de la structure spatiale à un simulateur de croissance que l'on peut véritablement prévoir l'évolution des peuplements dans le temps et évaluer l'influence de la répartition des arbres sur leur croissance et la dynamique de la régénération. Dans cette optique, le simulateur spatial a été intégré à l'outil CEP (Croissance des Épinettes en Plantation), utilisé pour prévoir différents scénarios sylvicoles dans les plantations du Bas-Saint-Laurent. Ce simulateur repose sur des principes qui s'appliquent aussi à des forêts naturelles, dès que des données spatiales sont disponibles. L'émergence de technologies comme le lidar terrestre laisse entrevoir de nouvelles possibilités pour alimenter ce type de modèle avec des données précises, accessibles et à moindre coût. Cette approche ouvre ainsi la voie à une modélisation plus fine et plus réaliste de la dynamique forestière, en intégrant une dimension spatiale encore trop souvent absente des outils actuels.

Publication scientifique source

Duchateau, E., R. Schneider, S. Tremblay, L. Dupont-Leduc et H. Pretzsch, 2021. *Modelling the spatial structure of white spruce plantations and their changes after various thinning treatments*. Forests, 12(6), 740.

Référence complémentaire

Schneider, R., T. Franceschini, E. Duchateau, A. Bérubé-Deschênes, L. Dupont-Leduc, S. Proudfoot, H. Power et F. De Coligny, 2021. *Influencing plantation stand structure through close-to-nature silviculture*. Eur. J. For. Res., 140, 567–587.

Auteur de correspondance

emmanuel.duchateau@mmf.gouv.qc.ca

Les hyperliens de ce document étaient fonctionnels au moment de son édition.

Pour plus de renseignements, veuillez communiquer avec :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

Courriel : recherche.foresti%C3%A8re@mmf.gouv.qc.ca
Internet : [recherche forestière gouvernementale](http://recherche.foresti%C3%A8re.gouvernementale)

ISSN: 1715-0795

Ressources naturelles
et Forêts

Québec