



RÉSEAU  
REBOISEMENT  
LIGNICULTURE  
QUÉBEC

# La variation génétique adaptative à la sécheresse d'un conifère à large distribution suggère un potentiel d'augmentation de la résilience des forêts

Claire Depardieu<sup>1,2</sup>, Martin Girardin<sup>2</sup>, Simon Nadeau<sup>2</sup>, Sébastien Gérardi<sup>1</sup>, Patrick Lenz<sup>1,2</sup>, Manuel Lamothe<sup>2</sup>, Jean Bousquet<sup>1</sup> et Nathalie Isabel<sup>1,2</sup>

*Article d'origine : Depardieu, C., Girardin, M. P., Nadeau, S., Lenz, P., Bousquet, J., & Isabel, N. (2020). Adaptive genetic variation to drought in a widely distributed conifer suggests a potential for increasing forest resilience in a drying climate. New Phytologist, 227(2), 427-439. <https://doi.org/10.1111/nph.16551>*

<sup>1</sup> Institut de biologie intégrative et des systèmes (IBIS), 1030, avenue de la Médecine, bureau 2106, Université Laval, Québec (Québec) G1V 0A6; <sup>2</sup> Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, 1055, rue du Peps C. P. 10380, succ. Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7.

## Contexte

En forêt boréale, la croissance et la séquestration du carbone par les arbres vont se trouver fortement affectées par des épisodes de sécheresse plus fréquents et plus sévères. De plus, ces contraintes risquent de rendre les arbres plus vulnérables aux ravageurs et aux autres perturbations naturelles. Ainsi, il devient crucial de déterminer la capacité adaptative de différentes espèces d'arbres à ces changements rapides et intenses afin de mieux prédire et maintenir la productivité des forêts. Prédire la capacité adaptative des plantes représente un défi de taille qui est accentué par la complexité et la multitude des traits fonctionnels qui entrent en jeu, tels que la conductance stomatique, la surface foliaire et l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Les essais de jardins communs consistent généralement à planter, sur un même site, des arbres de la même espèce provenant de différentes origines géographiques, appelées provenances. Les jardins communs permettent d'analyser la base génétique des traits complexes de différentes provenances et de déterminer les signaux d'adaptation locale des traits d'histoire de vie. Durant les années 60 et 70, plusieurs essais de jardins communs ont été établis à l'est du Canada afin d'identifier les meilleures sources de semences de reboisement de plusieurs espèces de conifères. Pour l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), l'analyse des essais de provenance a montré une différenciation de la croissance juvénile, de la dessiccation hivernale et de la densité du bois. Récemment, ces jardins communs ont été utilisés pour l'identification de



marqueurs génétiques impliqués dans les différences d'adaptation des populations ou pour évaluer des approches génomiques permettant d'accélérer l'amélioration génétique des traits complexes comme la croissance et la qualité du bois. L'étude de la croissance des cernes (dendroécologie) combinée aux essais de jardins communs permet de mieux comprendre la réponse des arbres aux événements climatiques extrêmes (p. ex. : sécheresses) durant leur cycle de vie, de même que la variation de cette réponse selon les populations. En plus de la mesure de la largeur des cernes de croissance, l'analyse du diamètre des trachéides (soit les conduits transportant l'eau et les sels minéraux) permet de repérer l'empreinte des épisodes de sécheresse sur le bois. La taille des trachéides permet également de mesurer le degré de vulnérabilité au déficit hydrique des arbres, et la densité de bois est un indicateur de la résistance à l'embolisme (formation de bulles d'air dans le xylème à cause de la sécheresse).

Dans ce travail, les auteurs ont évalué la réponse adaptative à la sécheresse de 43 populations d'épinette blanche – une espèce de grande importance écologique et économique en Amérique du Nord et sensible à la sécheresse –, en utilisant une large base de données des cernes de croissance d'arbres provenant d'un essai de jardin commun. L'objectif de l'étude est de mettre en évidence le rôle significatif de la variation de la réponse à la sécheresse des populations dans l'adaptation locale et la résilience de la croissance des arbres. Plus spécifiquement, il était question de déterminer comment la sécheresse affecte la croissance radiale et les traits des trachéides, d'évaluer la résilience de la croissance à l'épisode de sécheresse extrême de 2001-2002, et d'explorer la variation intraspécifique des traits du xylème des provenances étudiées.

## Méthodologie

Le jardin commun de cette étude – établi en 1979 à Mastigouche, au Québec – est situé dans l'aire de distribution naturelle de l'épinette blanche (lat. 46°38'N, long. 73°13'W, élévation 230 m). Des semis de quatre ans ont été utilisés, espacés de 1,2 m sur la même rangée et de 2,4 m entre les rangées. Au total, 1481 arbres ont été échantillonnés, appartenant à 43 provenances dont les précipitations moyennes annuelles des sites d'origine varient entre 841 et 1359 mm, et la température moyenne annuelle entre -1,1 et 5,6 °C. Les provenances ont été représentées par 197 familles.

Pour déterminer les traits du bois des arbres âgés de 27 ans, des carottes de bois de 12 mm de diamètre ont été prélevées de chaque arbre à 120 cm du sol. L'analyse d'images, la densimétrie et la diffractométrie à rayon X ont été utilisées pour mesurer notamment la largeur des cernes, le diamètre radial et tangentiel des trachéides, l'épaisseur de la paroi cellulaire ainsi que la densité du bois. La largeur des cernes a été convertie en accroissement en surface terrière.

Les données climatiques ont révélé la présence de trois épisodes de sécheresse extrêmes (1997, 2001-2002 et 2005) au cours desquels une nette baisse de la croissance annuelle a été enregistrée. Pour chaque épisode de sécheresse, un indice de résistance, un indice de rétablissement, un indice de résilience et un

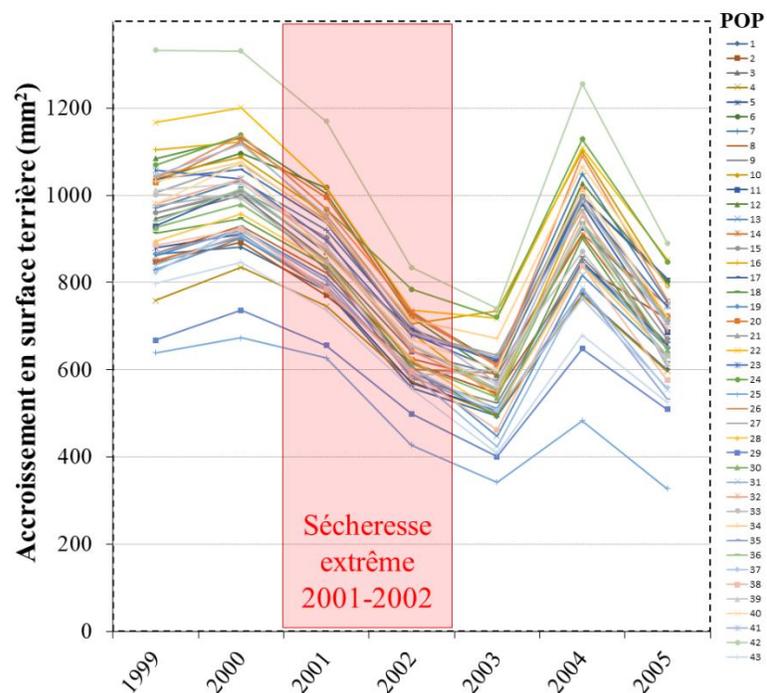


indice de résilience de la croissance à la sécheresse ont été calculés. L'héritabilité des traits étudiés a été estimée en utilisant un modèle statistique complexe, et calculée comme la variance du trait attribuable aux différences génétiques dans la population divisée par la variance totale du trait dans la population.

## Résultats

Les résultats montrent une différence significative de l'accroissement en surface terrière entre les 43 populations établies sur le jardin commun. La température annuelle moyenne ainsi que l'humidité du sol en été étaient les meilleurs prédicteurs de la croissance des populations d'épinette blanche.

**Figure 1.** Variation annuelle de l'accroissement en surface terrière des arbres pour la période 1999-2005. La sécheresse de 2001-2002 a provoqué une baisse de croissance en 2002 pour toutes les populations (POP) étudiées (repris de l'article de Depardieu et coll., Le Climatoscope, no 3, octobre 2021, p. 67).

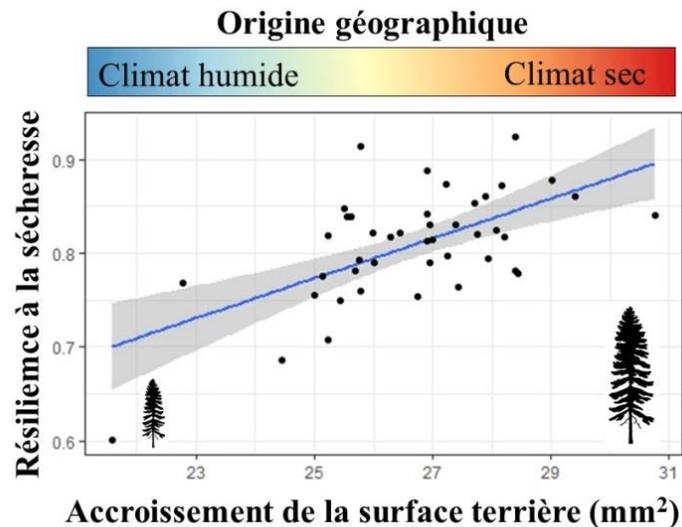


Les analyses dendroclimatiques ont montré que les traits du bois ont été affectés par l'humidité du sol qui est influencée par les précipitations et la température. La baisse de la croissance radiale en conditions de sécheresse (figure 1) a été attribuée à la formation de trachéides ayant un diamètre du lumen plus petit au mois de juillet et une baisse de la densité du bois pour plusieurs populations. L'effet de la provenance sur le rétablissement, la résilience et la résistance à la sécheresse était hautement significatif pour la sécheresse de 2001-2002. Les populations les plus résilientes ont eu un taux de rétablissement plus élevé à la suite de la sécheresse et une meilleure croissance sur le site du jardin commun (figure 2). L'estimation de l'héritabilité a montré que les traits quantitatifs étaient sous contrôle génétique faible à modéré. De façon notable, une partie importante de la variabilité de la majorité des traits était liée aux différences au sein des familles.



**Figure 2.** Relation entre la résilience à la sécheresse et l'accroissement moyen de la surface terrière sur le site du jardin commun pour les 43 populations d'épinette blanche étudiées (repris de l'article de Depardieu et coll., *Le Climatoscope*, no 3, octobre 2021, p. 67).

Cette étude a mis en évidence deux éléments : (i) une variation génétique adaptative remarquable de l'épinette blanche – un conifère à large distribution – démontrant une adaptation locale et une résilience accrue, (ii) le rôle important de la génétique dans la réponse de la croissance à la sécheresse. L'analyse de cette réponse, en lien avec le climat d'origine des provenances, a montré que les populations provenant de sites secs ont été plus résilientes que les populations des sites humides. De plus, la résilience des provenances les plus productives de cette étude (provenant des sites les plus secs) était généralement supérieure aux autres provenances, ce qui laisse présager que ces provenances seront capables de mieux s'acclimater à des sécheresses futures.



Les provenances originaires des sites les plus secs ont une densité de bois inférieure à celle des sites humides, des lumens de trachéides plus grands et des parois cellulaires plus minces. L'adaptation de la structure du xylème pourrait être interprétée comme une façon d'accroître l'efficacité hydraulique avec un coût minimum en carbone dans des zones où le taux de photosynthèse est limité par des épisodes de sécheresse fréquents.

Cette étude démontre l'impact majeur des événements climatiques extrêmes sur la survie et la santé des arbres, ainsi que sur la sélection naturelle des conifères de la région boréale, étant donné leur longue durée de développement avant d'atteindre la maturité sexuelle. Les résultats démontrent qu'une variation génétique adaptative existe au sein de la même espèce en réponse au changement des conditions locales, et suggèrent que cette variation intraspécifique pourrait permettre une plus grande capacité de survie et de persistance de l'épinette blanche face aux changements climatiques.