

# Avis technique

## SGEF-32

Direction de la recherche forestière

**Titre :** Sélection de familles d'épinette noire dans le verger à graines nordique de Rivière Mistassibi (EPN-V1-N50-1)

**Auteur(s) :** Clémentine Pernot, Josianne DeBlois, Guillaume Otis Prud'Homme

**Date :** Mars 2026

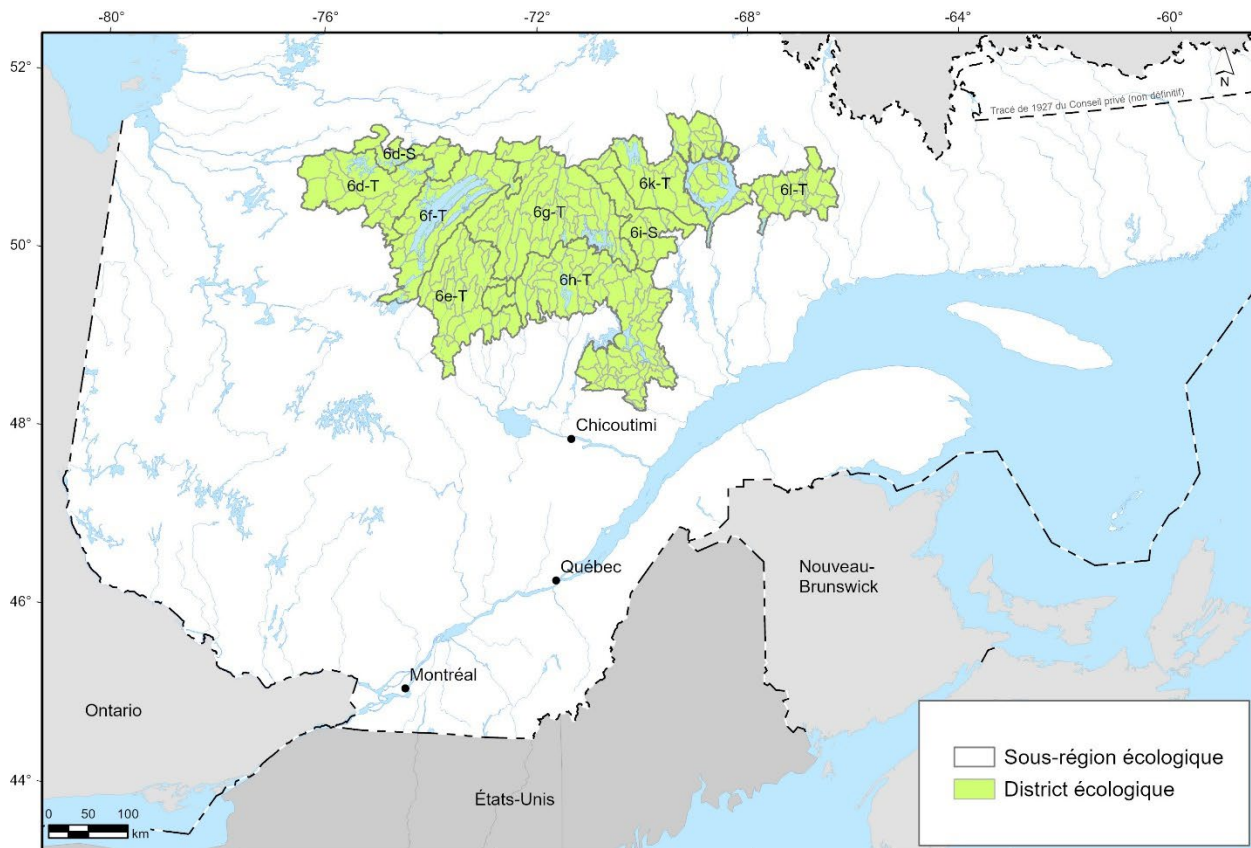
**Vu la hauteur importante atteinte par la cime des arbres du verger à graines nordique d'épinette noire de Rivière Mistassibi, des travaux d'étêtage et d'éclaircie sont devenus nécessaires. Nous avons donc mesuré une partie de ces arbres afin d'évaluer la performance des familles présentes et d'orienter la sélection. Celle-ci s'appuie non seulement sur la hauteur des arbres, mais également sur la présence de tiges multiples. Nous proposons deux scénarios d'intervention, correspondant à deux intensités d'éclaircie : un plus sélectif et un autre plus prudent.**

### 1. Contexte

Le verger à graines nordique de Rivière Mistassibi a été établi en 2012 dans l'objectif de fournir des semences d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) pour le territoire d'utilisation au nord du 49<sup>e</sup> parallèle et à l'ouest du 70<sup>e</sup> degré de longitude (figure 1). Ce verger de semis est composé des descendants de 121 arbres sélectionnés dans les vergers nordiques de première génération (Dolbeau, Lévy et Ragueneau) et de 125 arbres-plus sélectionnés en 2009. Les caractéristiques principales de ce verger sont les suivantes :

- Superficie : 20,5 ha
- Composition : 42 139 semenciers, 246 familles
- Cible de la Direction générale de production de semences et de plants forestiers (DGPSPF) : de 12 500 à 13 000 semenciers.

Aucun test de descendance n'est associé à ce verger. Par conséquent, il a toujours été prévu d'évaluer la performance des familles directement à partir du verger. Ainsi, durant l'été 2025, nous avons mesuré les arbres dans 2 des 11 blocs qui constituent le verger (6 970 arbres sur 42 139). Ces deux blocs ont été choisis en raison de leur accessibilité et sur la base d'images aériennes. Nous avons évalué les arbres selon les critères de survie, de croissance, du nombre de fourches et de tiges multiples, et des dégâts.



**Figure 1.** Carte montrant le territoire d'utilisation du verger à graines EPN-V1-N50-1.

La cible de 13 000 semenciers représente une éclaircie de 70 % du verger et la conservation de seulement 75 des 246 familles présentes initialement. Sachant que nous n'avons pu mesurer que deux blocs en partie seulement — et sur la base des autres prescriptions faites historiquement, il nous semble hâtif et risqué de sélectionner si peu de familles. Une éclaircie de 50 % des individus nous semblerait être une approche plus prudente. Une telle intensité de sélection (50 % à 60 % des arbres) correspond d'ailleurs à ce qui était fait habituellement dans les vergers de première génération.

Nous proposerons donc ici deux scénarios de sélection : l'un basé sur une éclaircie de 70 % et l'autre sur une éclaircie de 50 %, afin de tenir compte des défis opérationnels liés au contexte actuel et pour laisser une plus grande flexibilité aux opérations.

## 2. Premières observations

Le taux de survie moyen des arbres était excellent, à 99,2 %. Seulement 1/5 des familles avaient 1 ou 2 individus morts sur la trentaine d'arbres évalués. De plus, très peu d'arbres présentaient des dégâts majeurs (0,8 % : quelques arbres qui végétaient ou avaient une tige trop courbée ou brisée). Nous avons considéré ces arbres comme anecdotiques et non représentatifs de leur famille, et donc, nous les avons écartés de l'analyse pour la sélection. Aucune tendance familiale ne se dégagait concernant ces dégâts.

En moyenne, seuls 1,8 % des arbres avaient une fourche à 2 ou 3 tiges (embranchement à 1,30 m et plus du sol ; tableau 1). Plus précisément, 153 familles sur les 246 du verger ne présentaient aucune fourche ; dans 88 familles, l'incidence des fourches variait de 3 à 8 % (soit 1 à 2 arbres sur la trentaine d'arbres mesurés) ; et dans 5 familles, environ 10 % des arbres présentaient des fourches. Ce problème de morphologie était donc peu présent, de sorte que nous ne l'avons pas retenu comme critère de sélection.

**Tableau 1.** Valeurs familiales moyenne, minimale et maximale ( $n = 246$  familles) pour la hauteur, le pourcentage d'arbres ayant des tiges multiples, le pourcentage d'arbres ayant au moins une fourche et le pourcentage de survie à 13 ans des épinettes noires échantillonnées dans 2 des 11 blocs du verger à graines de Rivière Mistassibi.

Variable	Moyenne	Minimum	Maximum
Hauteur	3,9 m*	3,3 m	4,4 m
Pourcentage des arbres ayant des tiges multiples	9,8 %	0 %	34,5 %
Pourcentage des arbres ayant au moins une fourche	1,8 %	0 %	10,7 %
Pourcentage de survie	99,2 %	92 %	100 %

\* Dans le cas de la hauteur, il s'agit de la moyenne ajustée.

Cependant, nous avons observé plus d'arbres présentant des tiges multiples (embranchement à moins de 1,30 m du sol). Cela pourrait être corrélé aux dégâts liés à la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui nous ont été rapportés dans ce verger en jeune âge. Une présence d'au moins deux tiges a été observée en moyenne chez 9,8 % des arbres évalués (tableau 1). En général, pour qu'un trait binaire (présence/absence, comme c'est le cas ici) soit vraiment utile à étudier sur le plan génétique, il faut qu'il soit présent chez au moins 20 % des individus. Toutefois, dans le cas présent, nous avons observé une grande variabilité entre les différentes familles, allant de l'absence totale de tiges multiples à 34,5 % des arbres ayant au moins deux tiges (tableau 1). Nous avons donc décidé d'inclure cette variable comme critère pour sélectionner les individus à conserver après éclaircie.

### 3. Méthodologie pour la sélection

Nous avons réalisé une sélection basée sur la hauteur et le pourcentage d'individus ne présentant pas de tiges multiples. Pour ce faire, nous avons tout d'abord réalisé une analyse de la variance pour obtenir les valeurs d'amélioration de chacune des familles du verger à l'aide de la méthode BLUP (*best linear unbiased prediction*), et ce, séparément pour la hauteur (variable continue) et la présence de tiges multiples (variable binaire [présence/absence] suivant une distribution binomiale avec une fonction de lien logit).

Afin de prendre en compte à la fois la hauteur des arbres et l'absence de tiges multiples, nous avons ensuite construit un indice de sélection. Cet indice permet de combiner en une seule mesure l'information génétique concernant la hauteur et l'absence de tiges multiples. Pour le calculer, nous avons attribué un poids à chaque variable de façon à optimiser les gains obtenus sur les deux caractères. Nous avons obtenu les valeurs de l'indice de sélection pour chacune des familles en faisant varier le poids des deux variables :

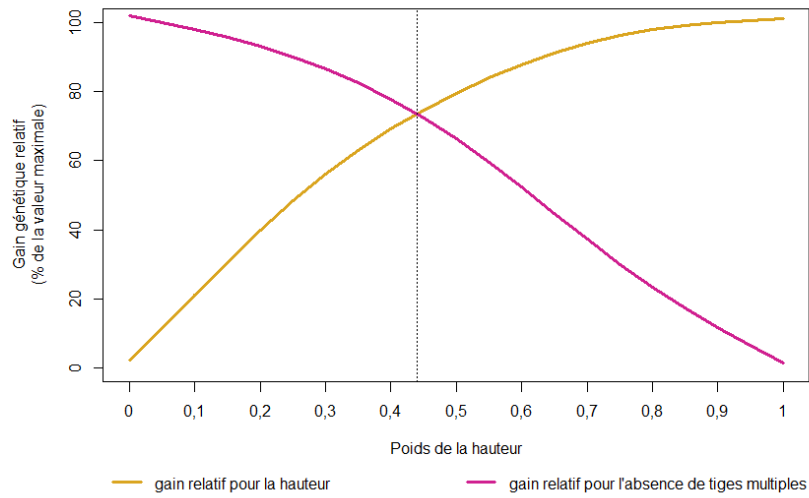
$$I_i = blup(w \times BV_{i_{HT}}) + ((1 - w) \times BV_{i_{TM}})$$

où  $I_i$  correspond à l'indice de sélection pour la famille  $i$ , avec un poids  $w$  accordé à la valeur d'amélioration pour la hauteur ( $BV_{i_{HT}}$ ) et un poids de  $(1 - w)$  accordé à la valeur d'amélioration pour l'absence de tiges multiples ( $BV_{i_{TM}}$ ) pour cette même famille.

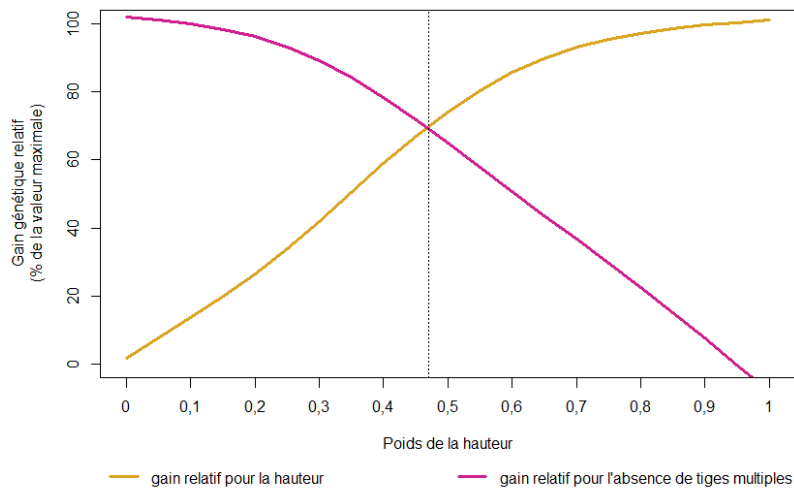
À chaque valeur de poids, nous avons calculé le gain relatif des deux traits en sélectionnant les 30 % ou 50 % meilleures familles (pour les éclaircies de 70 % et 50 %, respectivement) selon l'indice de sélection, puis en exprimant le gain de ces familles en valeur relative par rapport au gain génétique maximal que l'on obtiendrait pour le trait concerné lorsque la sélection est basée seulement sur ce trait. C'est pourquoi, lorsque le poids de la hauteur est nul ( $w = 0$ , donc  $I_i = BV_{i_{TM}}$ ), le gain relatif pour les tiges multiples est maximal (figure 2, courbe rose à 100 %), tandis que celui pour la hauteur est minimal (figure 2, courbe jaune proche de 0 %). À mesure que le poids accordé à la hauteur augmente dans l'indice, le gain relatif de la hauteur augmente, alors que celui des tiges multiples diminue. Le point où les deux courbes se croisent correspond au compromis optimal qui permet de maximiser simultanément les gains sur les deux traits. Dans la présente analyse, ces poids optimaux retenus sont les mêmes pour les deux intensités d'éclaircie (70 % ou 50 %), soit 0,45 pour la hauteur et 0,55 pour l'absence de tiges multiples.

Avec ces poids optimaux, nous avons ensuite calculé l'indice de sélection qui a permis de classer les familles de la plus prometteuse à la moins intéressante. L'origine des arbres a également été considérée pour s'assurer de garder une bonne diversité génétique.

**a) Détermination des poids optimaux pour l'indice de sélection d'une éclaircie de 70 % du verger**



**b) Détermination des poids optimaux pour l'indice de sélection d'une éclaircie de 50 % du verger**



**Figure 2.** Variation du gain génétique relatif (%) pour les deux traits de l'indice de sélection en fonction du poids attribué à la hauteur selon le scénario de l'éclaircie a) à 70 % ou b) à 50 % du verger à graines de Rivière Mistassibi. La courbe jaune représente le gain relatif pour la hauteur, alors que la courbe rose représente le gain relatif pour l'absence de tiges multiples. Le point d'intersection des deux courbes indique le poids optimal (arrondi à 0,45 dans les deux graphiques) à attribuer à la hauteur, ce qui correspond au compromis maximisant simultanément les gains pour les deux traits.

#### 4. Résultats et recommandations

Grâce à l'indice de sélection, nous avons pu identifier les familles combinant de manière optimale une bonne performance en hauteur et une faible présence de tiges multiples. Ainsi, pour une cible de 12 500 à 13 000 semenciers (éclaircie de 70 % du verger), les 75 meilleures familles sélectionnées selon l'indice présentent des gains génétiques relatifs de 6,3 % pour la hauteur et de 3,4 % pour l'absence de tiges multiples, par rapport à l'ensemble du verger (tableau 2). Lors du mesurage, les familles sélectionnées (figure 3a, points orange) avaient des gains absolus (correspondant à leurs valeurs génétiques familiales) variant de 73,5 cm à -15,0 cm pour la hauteur et de 5,4 % à -2,5 % pour le pourcentage d'absence de tiges multiples, par rapport à la moyenne de l'ensemble des arbres mesurés dans le verger.

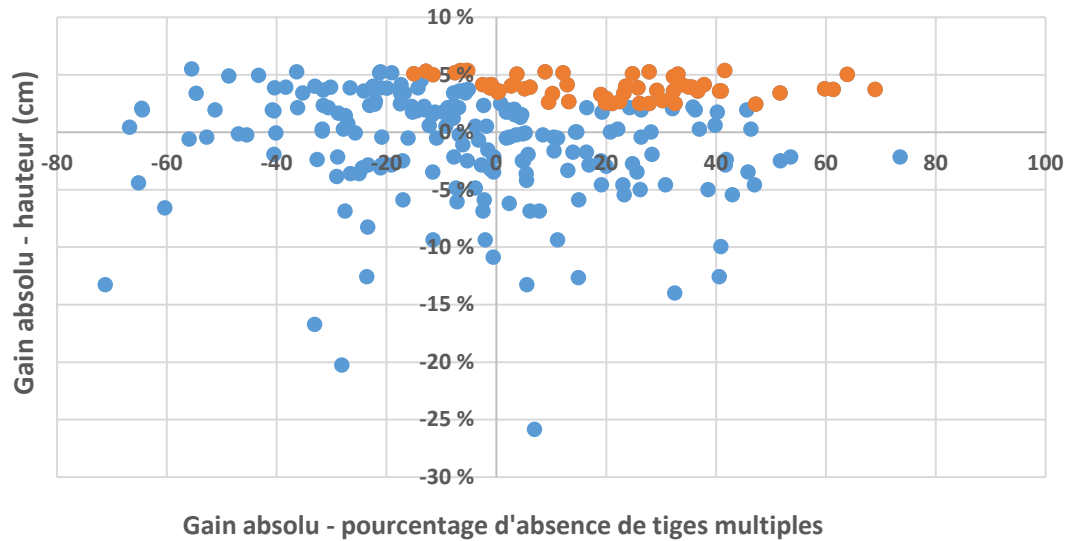
**Tableau 2.** Gains génétiques à 13 ans pour la hauteur et l'absence de tiges multiples des épinettes noires du verger à graines de Rivière Mistassibi, à la suite d'une sélection basée sur ces deux critères, en fonction d'un scénario d'éclaircie à 70 % ou à 50 %. Le nombre d'arbres sélectionnés tient compte du taux de mortalité estimé pour chaque famille à partir du mesurage. Les gains ont été calculés par rapport à l'ensemble du verger.

Scénario	Nombre de familles sélectionnées	Nombre d'arbres sélectionnés	Gain relatif en hauteur (%)	Gain absolu en hauteur (cm)	Gain relatif pour l'absence de tiges de multiples (%)	Gain absolu pour l'absence de tiges de multiples (%)
Éclaircie à 70 %	75	12 825	6,3	24,6	3,4	3,1
Éclaircie à 50 %	123	21 154	4,0	15,6	2,7	2,4
Verger initial	246	42 139				

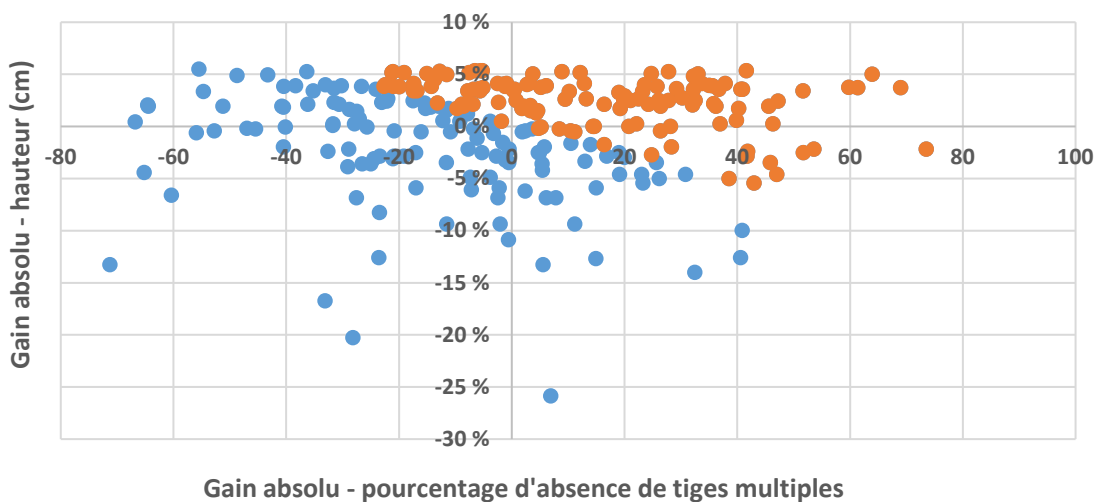
L'approche d'éclaircie plus prudente, à 50 %, donnerait des gains génétiques relatifs un peu plus faibles, car plus de familles seraient retenues. Ces gains seraient de 4,0 % pour la hauteur et de 2,7 % pour l'absence de tiges multiples (tableau 2). Avec une plus grande sélection de familles (figure 3b, points orange), les gains absolus varient de 73,5 cm à -22,6 cm pour la hauteur et de 5,4 % à -5,4 % pour le pourcentage d'absence de tiges multiples.

Lors d'une sélection multicritère, il est attendu que certaines familles présentent des gains absolus négatifs pour l'un des traits. Cela reflète le compromis fait entre plusieurs critères, notamment lorsque des corrélations défavorables existent ; il arrive qu'une famille perde un peu sur un critère, mais gagne davantage sur l'autre. En fin de compte, le score global reste meilleur, et c'est ce qu'on veut optimiser.

a) Sélection des meilleures familles pour une éclaircie de 70 % du verger



b) Sélection des meilleures familles pour une éclaircie de 50 % du verger



**Figure 3.** Gains absolus calculés par rapport à la moyenne des familles pour un scénario d'éclaircie a) à 70 % et b) à 50 % dans le verger à graines de Rivière Mistassibi. Ces valeurs correspondent aux valeurs génétiques familiales (*breeding value*) pour les deux critères de l'indice de sélection, soit la hauteur et le pourcentage d'absence de tiges multiples. Chaque point représente une famille. Les familles sélectionnées apparaissent en orange selon le scénario de l'éclaircie du verger a) à 70 % ou b) à 50 %, tandis que les familles non sélectionnées sont représentées en bleu. Cette figure illustre comment l'indice permet d'identifier les familles offrant les meilleurs compromis entre croissance en hauteur et réduction de la fréquence de tiges multiples.

Les gains en hauteur estimés dans cette analyse sont cohérents avec ceux d'une sélection familiale et avec ceux observés dans les vergers à graines de première génération d'épinette noire après éclaircie, lesquels variaient de 2,2 % à 9,5 % selon le verger (moyenne : 4,9 % ; Despots et Numainville 2013). D'autant plus qu'il s'agit ici d'une sélection multicritère qui, en plus de la hauteur, prend également en compte l'absence de tiges multiples. Comparativement à une sélection fondée uniquement sur la hauteur, les gains attendus pour ce trait sont légèrement diminués. Toutefois, la sélection multicritère permet d'obtenir aussi des gains sur la forme et la réponse des arbres à la perte de dominance apicale (ici sûrement causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette), ce qui est une approche plus complète et cohérente.

Cela dit, il est bien important de se rappeler qu'il s'agit d'une estimation du potentiel de ces familles à 13 ans. Les gains génétiques obtenus dans le verger étudié ne sont pas directement comparables avec ceux des plantations qui seront établies à partir des semences issues de ce verger, car l'expression du potentiel génétique dépend fortement des conditions environnementales locales (Perron *et al.* 2023).

Concernant le nombre total de semenciers restants à la suite des deux scénarios d'éclaircie (tableau 2), il est important de noter que ce nombre est une estimation. En effet, le taux de survie est basé sur les deux blocs qui ont été mesurés, situés à l'est du verger dans les deux cas. La partie ouest du verger, plus éloignée du chemin principal, n'a pas été évaluée. Considérant les variations possibles du taux de survie, le nombre réel total de semenciers après une éclaircie faite selon ces recommandations sera sûrement légèrement différent.

Si l'éclaircie à 70 % est choisie, celle-ci devra être la sélection finale des familles dans ce verger. Si l'éclaircie à 50 % est retenue, une seconde éclaircie pourrait être envisagée dans le futur. Toutefois, aucun test de descendance n'est rattaché à ce verger. Compte tenu de sa grande superficie (20,5 ha), nous croyons que le scénario d'une éclaircie à 50 % de la totalité du verger, accompagnée de l'étêtage d'une partie des arbres restants, serait idéal pour un suivi à plus long terme : la partie étêtée du verger servirait à la récolte de semences, tandis que quelques blocs non étêtés seraient conservés pour permettre un mesurage futur visant à orienter la sélection finale.

Une éclaircie partielle du verger n'est pas envisageable, car elle laisserait en place des arbres moins performants, beaucoup trop proches, qui polliniseraient les arbres sélectionnés dans la zone éclaircie. Ceci compromettrait l'objectif même du travail de sélection.

## **5. Interprétation des gains génétiques**

Il est important de rappeler l'utilité des gains génétiques ainsi que le cadre précis dans lequel ceux-ci doivent être interprétés. Les gains génétiques représentent une estimation du potentiel relatif des familles par rapport à la moyenne de la population testée. Ils ne correspondent pas à un gain par rapport à des semences provenant de forêt naturelle et ne doivent pas être interprétés comme tels.

Ces valeurs ne sont pas absolues et ne peuvent pas servir à comparer différentes populations, différents sites ou différents environnements. Les gains sont estimés pour des traits précis, à un âge précis, et leur valeur dépend directement des conditions du test. Ils ne sont donc pas transférables tels quels vers d'autres contextes de déploiement (Perron *et al.* 2023).

Bien qu'ils donnent une idée générale de l'effet de la sélection, leur rôle principal est d'aider les généticiens à classer les familles à l'intérieur d'une même population, dans un réseau de dispositifs expérimentaux donné. Ils ne constituent pas une prédiction directe de la performance d'une plantation opérationnelle. Le gain génétique n'est donc ni une mesure universelle ni une information généralisable, et il n'est pas comparable aux gains associés à d'autres vergers issus de populations différentes ou à d'autres programmes de sélection.

## 6. Bilan des recommandations

Nous avons sélectionné les familles les plus performantes du verger de Rivière Mistassibi pour la hauteur et l'absence de tiges multiples, selon deux scénarios d'éclaircie, à choisir en fonction de la faisabilité opérationnelle :

- Éclaircie de 70 %, laissant en place environ 13 000 semenciers représentant 75 familles :
  - Ce scénario viserait à répondre aux cibles de la DGSPF pour les besoins de récolte de semences ;
  - Ce scénario plus sélectif laisse en place peu de familles, ce qui pourrait être risqué, sachant que cette sélection se base sur un mesurage partiel en jeune âge (13 ans) ;
  - Par rapport à la moyenne du verger, les gains génétiques seraient de 6,3 % en hauteur et de 3,4 % pour l'absence de tiges multiples ;
  - Cette sélection conduirait à l'éclaircie finale du verger.
- Éclaircie de 50 %, laissant environ 21 000 semenciers représentant 123 familles :
  - Ce scénario serait plus prudent, car il permettrait de répondre aux besoins de récolte de semences de la DGSPF tout en conservant un plus grand nombre de familles ;
  - Par rapport à la moyenne du verger, les gains génétiques seraient de 4,0 % en hauteur et de 2,7 % pour l'absence de tiges multiples ;
  - Avec ce scénario, une deuxième éclaircie pourrait être envisagée dans le futur. Pour ce faire, il serait avantageux de laisser quelques blocs non étêtés dans le verger éclairci afin de pouvoir mesurer les arbres à nouveau. Ce remesurage permettrait d'ajuster la sélection en vue d'une seconde éclaircie.

Pour finir, rappelons que l'interprétation des gains génétiques doit toujours être faite avec prudence.

## Références bibliographiques

Despots, M. et G. Numainville, 2013. *L'amélioration génétique de l'épinette noire au Québec : Bilan et perspectives*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 169.

46 p. <https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire169.pdf>

Perron, M., J. Barrette, I. Auger et J. DeBlois, 2023. *Intégration du gain génétique des arbres améliorés dans les courbes de rendement en plantation : prudence et patience*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Avis technique SGRE-29. 17 p. [https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT\\_SGEF-29.pdf](https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SGEF-29.pdf)

Clémentine Pernot, biologiste, Ph. D.

Guillaume Otis Prud'Homme, ing.f., M. Sc. (OIFQ 2020-002)

Service de la génétique et de l'écologie forestière

Josianne DeBlois, stat., M. Sc.

Service du soutien scientifique

### Correspondance :

Clémentine Pernot

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Direction de la recherche forestière

2700, rue Einstein, bureau B.1.102

Québec (Québec) G1P 3W8

Tél. : 418 643-7994, poste 606658

Courriel : [clementine.pernot@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:clementine.pernot@mrnf.gouv.qc.ca)

---

On peut citer tout ou une partie de ce texte en indiquant la référence. Citation recommandée :

Pernot, C., J. DeBlois et G. Otis Prud'Homme, 2026. *Sélection de familles d'épinette noire dans le verger nordique de Rivière Mistassibi (EPN-V1-N50-1)*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Avis technique SGEF-32. 10 p. <https://doi.org/10.82204/74ey-kj03>