

**Migration assistée : utilisation de données éco-physiologiques pour redéfinir les territoires d'utilisation des semences pour les vergers de 2<sup>ème</sup> génération et raffiner les modèles de transfert de semences pour les vergers de 1ère génération**

**Livrable 1 : Actualisation des territoires d'utilisation des vergers de deuxième génération de l'épinette blanche au Québec**

**Contrat MFFP-ULaval : n° 121581**

Responsable du projet : Jean Beaulieu

Auteurs : Lahcen Benomar, Jean Beaulieu, Mohamed S. Lamhamedi, André Rainville et Marie-Claude Lambert

**2018**

## **I. Objectifs**

- 1) Déterminer s'il est possible d'étendre les territoires d'utilisation actuels des deux vergers de 2<sup>ème</sup> génération (V2) de l'épinette blanche (EPB) vers le nord et, dans le cas de l'EPB-V2-PLU vers l'est, pour répondre à la demande de semences pour les territoires d'utilisation identifiés.
- 2) Préciser les limites nordiques des nouveaux territoires d'utilisation de chaque verger en prenant en compte la survie des plants et les risques de dégâts par les gels tardifs au printemps et hâtifs à l'automne les premières années après la mise en terre des plants.
- 3) Évaluer si le gain génétique annoncé pour chaque V2 (15% en hauteur) reste le même sur les nouveaux territoires inclus dans leur territoire d'utilisation ou s'il serait pertinent de le diminuer.
- 4) Dans la mesure où le nouveau territoire d'utilisation du V2 de Ste-Luce ne permet pas de couvrir l'ensemble du domaine bioclimatique 5, proposer une liste de parents dont la proportion pourrait être augmentée dans une copie du V2-PLU actuel pour que le territoire d'utilisation (TU) de cette copie puisse couvrir l'ensemble du domaine 5.

## **II. Méthodologie**

### ***Matériel génétique et sites d'étude***

Huit populations génétiques issues de huit vergers à graines d'ÉPB ont été choisies, i.e., six vergers à graines de première génération (V1-1 à V1-6) et deux vergers à graines de deuxième génération (V2-1 et V2-2) (Figure 1). Les six vergers de première génération sont constitués d'arbres-plus sélectionnés régionalement en forêts naturelles (Beaulieu et al. 2009) et sont parmi les vergers les plus utilisés actuellement dans les programmes de reboisement de l'ÉPB. Les deux vergers à graines de deuxième génération sont constitués de quatre de chacune des 25 meilleures familles uni-parentales (pour la croissance en hauteur, la forme des tiges et la branchaison) issues de sélections réalisées dans des tests de descendances à l'âge d'environ 15 ans. Treize des 25 familles sont communes aux deux vergers et sont originaires du Québec et de l'Ontario. Ainsi, les vergers de deuxième génération possèdent une composition génétique représentative d'un territoire géographique plus vaste que les vergers de première génération.

Des plants (2+0) de chaque verger ont été produits dans la pépinière provinciale de St-Modeste. Ces plants ont été mesurés et évalués selon les 26 normes et critères de qualification morpho-physiologique des plants du MFFP; seuls les plants répondant à ces normes et critères ont été utilisés pour l'installation des tests sur le terrain.

Des plantations ont été établies sur neuf sites répartis de l'est à l'ouest et du nord au sud de l'aire de distribution géographique de l'épinette blanche au Québec entre 2013 et 2015. Les sites situés à l'est (Watford, Asselin et Deville) ont été installés en 2013, ceux au centre (Wendover, Picard et Lac Bergeron) en 2014 et ceux à l'ouest (Dorion, Laubanie et Rousseau) en 2015 (Figure 1). Les plantations ont été établies selon un même dispositif expérimental de type blocs aléatoires complets. Chaque site est composé de quatre blocs dans lesquels les 8 vergers ont été distribués aléatoirement en parcelles de 27 m × 27 m à raison de 144 plants/parcelle. Les plants ont été mis en terre selon la densité indiquée pour l'épinette blanche au Québec soit 2000 plants/ha. Un dégagement de la compétition végétale a été réalisé durant la première et la deuxième saison de croissance des plants dans tous les sites à l'exception du site de Deville.

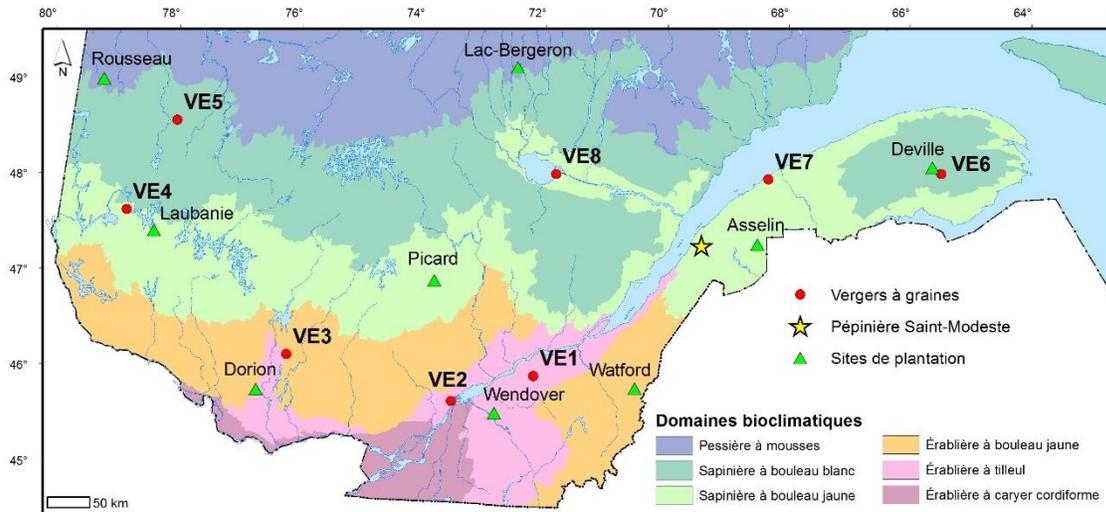


Figure 1 : Localisation des huit vergers à graines et des neuf sites de plantation utilisés dans cette étude.

### *Mesures de croissance*

La hauteur des arbres (H3), la survie (S3) et les dégâts dus au gel (tête morte) ont été mesurés à la fin de la troisième saison de croissance dans les neuf sites de plantation. Les mesures ont été effectuées sur les 64 arbres centraux à l'intérieur de chaque parcelle, soit un total de 18432 arbres mesurés (64 arbres × 4 parcelles × 8 vergers × 9 sites). Les arbres dont la hauteur était inférieure à la hauteur initiale (avant plantation ~35cm) ont été exclus des analyses de la hauteur. Ils représentaient 1.15% des arbres plantés.

La performance relative (%) des deux vergers de deuxième génération a été estimée par rapport à la performance du verger local dans chaque site de plantation. Pour chaque site de plantation, le verger local est le verger de première génération qui dessert la sous-région écologique où est situé le site de la plantation.

$$Yr = \frac{Y}{Y_{local}} * 100 \quad \text{Eq1}$$

où, Yr est la hauteur relative de (H3r) ou la survie relative (S3r), ou tête morte relative (T3r) des deux vergers de deuxième génération; Y est la hauteur (H3) ou la survie (S3), ou

tête morte (T3) des deux vergers de deuxième génération;  $Y_{local}$  est la hauteur ou la survie ou tête morte du verger local dans chaque site de plantation.

### ***Analyses de la variance***

Les analyses de la variance pour la performance (H3, S3 et T3) et la performance relative (H3r, S3r et T3r) des deux vergers de deuxième génération ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED de SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Le site et le verger ont été considérés comme effets fixes et le bloc à l'intérieur du site comme effet aléatoire. La normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées et des transformations (logarithme et logit) si nécessaire ont été utilisées pour respecter ces postulats. Les comparaisons multiples des moyennes ont été effectuées à l'aide du test de Tukey.

### ***Modélisation***

La performance et la performance relative des deux vergers à graines à la fin de la troisième saison de croissance ont été modélisées en fonction du climat du site de plantation à l'aide du modèle suivant :

$$Y_{bp} = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + e_{sp} \quad \text{Eq.2}$$

Où,  $Y_{bp}$  est la hauteur moyenne (H3 et H3r) ou la survie (S3 et S3r) ou tête morte (T3 et T3r) des arbres des deux vergers de deuxième génération dans le bloc (b) du site (p),  $\beta_0$  l'ordonnée à l'origine du modèle ;  $X$  et  $X^2$  sont des vecteurs de variables climatiques des sites de plantation et leurs effets quadratiques, respectivement,  $e_{sp}$  l'erreur résiduelle.  $\beta_0$  à  $\beta_2$  sont les paramètres du modèle à estimer.

Les variables climatiques des sites de plantation utilisées pour développer les modèles ont été générées par le logiciel BIOSIM (Régnière and St-Amant 2007). Les valeurs de ces variables correspondent aux moyennes climatiques durant les trois saisons de croissance des arbres dans chaque site.

La sélection des variables climatiques d'intérêt est basée sur les ajustements linéaire et quadratique de ces variables une par une avec la variable réponse. Pour éviter des effets de colinéarité, les variables climatiques ont été préalablement regroupées par la procédure Varclus et une seule variable par groupe a été intégrée dans le modèle général (initial). La sélection du modèle final a été réalisée à l'aide de la procédure Genselect. Le modèle le plus parcimonieux était sélectionné parmi les modèles quadratiques possibles à partir du modèle global décrit dans l'Eq.2 par le critère de sélection d'AIC.

Nous avons développé un modèle unique pour les deux vergers parce que leurs valeurs moyennes (pour chaque variable réponse) étaient similaires (statistiquement) et que l'échantillon était de petite taille (n=18).

### **Simulation**

Nous avons réalisé des simulations des valeurs relatives de la croissance en hauteur (H3r) et de la survie (S3r) dans les régions écologiques 1 à 5. La région écologiques 6 a été exclue des simulations car elle est à l'extérieur de l'intervalle des données ayant servi au calibrage du modèle.

## **III. Résultats**

### ***Performance des deux vergers de deuxième génération***

L'effet du site sur la croissance en hauteur, la survie et la proportion de têtes mortes (considéré comme étant la proportion d'arbres ayant subi des dégâts de gels) était très significatif. Cependant, les effets du verger et de l'interaction site×verger étaient non significatifs (Tableau 1). Les deux vergers ont eu ainsi une croissance (cm) et des taux de survie (%) et de têtes mortes (%) similaires et ils se comportaient de la même façon en réponse aux variations des conditions climatiques le long du gradient climatique (Tableau 1). La même tendance a été observée pour les valeurs relatives des trois variables réponses (Tableau 2).

La croissance en hauteur (H3) des arbres était la plus grande à Dorion, Picard et Asselin et la plus faible (environ 30 % de moins) à Laubanie et Wendover (figure 2). En revanche, la

croissance relative (H3r) était la plus forte à Wendover, Deville et Lac Bergeron (Figure 2).

La survie des arbres variait généralement entre 87 et 98%, et était plus grande à Watford et Deville. En terme relatif (S3r), la survie (par rapport au verger local) était supérieure à 100% seulement à Wendover et Rousseau.

La proportion de têtes mortes était très faible dans les sites au sud et au centre comparé aux sites au nord à l'exception du Lac Bergeron. Il nous est pour l'instant très difficile d'expliquer les valeurs obtenues à Lac Bergeron. La présence de têtes mortes pourrait aussi être due à d'autres facteurs, notamment la carence en bore et les attaques par les champignons pathogènes.

**Tableau 1:** Analyse de la variance de la croissance en hauteur, la survie et proportion de tête morte des arbres des vergers à graines de deuxième génération trois ans après la plantation.

SV	DF	Croissance (H3)		Survie (S3)		Tête morte (T3)	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Site	8	39.63	<.0001	6.13	<b>0.0002</b>	46.96	<.0001
Verger	1	0.84	0.3679	0.06	0.8034	0.57	0.45
Site*V	8	1.03	0.4355	0.75	0.6519	1.48	0.2098

F, test de Fisher; P, valeur de la probabilité du test; SV, Source de variation

**Tableau 2:** Analyse de la variance de la hauteur relative (H3r), la survie relative (S3r) et proportion relative de tête morte (T3r) des arbres des vergers à graines de deuxième génération trois ans après la plantation.

SV	DF	H3r		S3r		T3r	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<b>Site</b>	8	2.81	<b>0.023</b>	3.34	<b>0.01</b>	46.96	<.0001
<b>Verger</b>	1	0.88	0.35	0.09	0.77	0.57	0.45
<b>Site*V</b>	8	1.27	0.3	0.93	0.51	1.48	0.2098

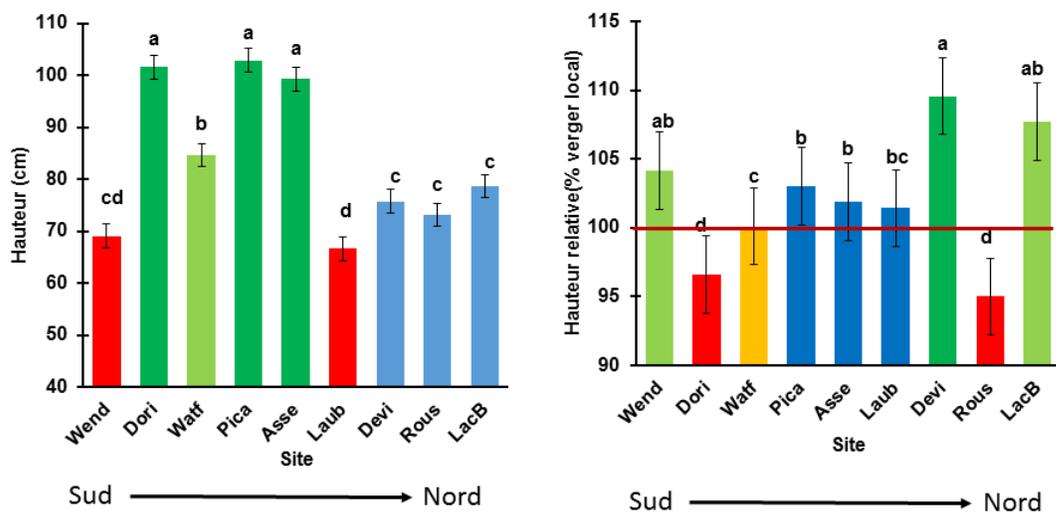


Figure 2: Hauteur et hauteur relative des arbres des deux vergers à graines de deuxième génération à la fin de troisième saison de croissance dans neuf sites de plantation à l'échelle du Québec.

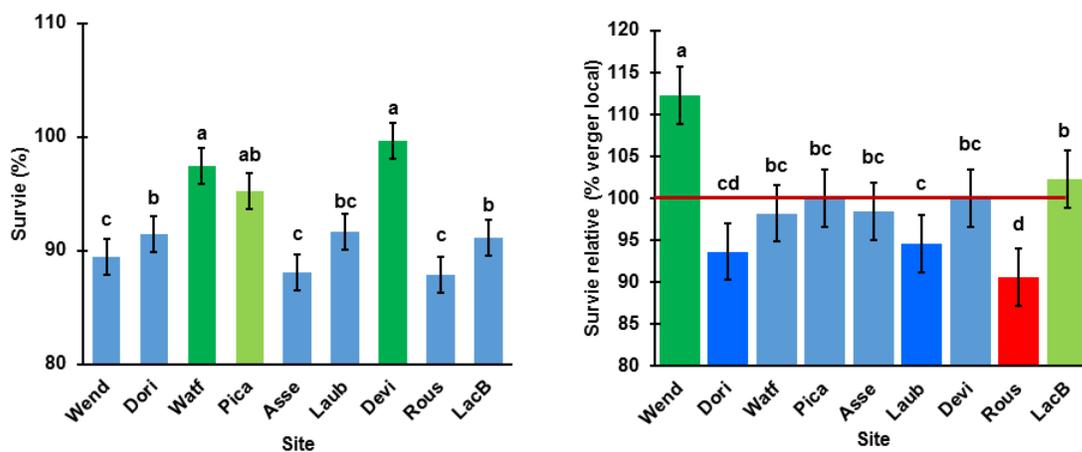


Figure 3: Survie et survie relative des arbres des deux vergers à graines de deuxième génération à la fin de troisième saison de croissance dans les neuf sites de plantation à l'échelle du Québec.

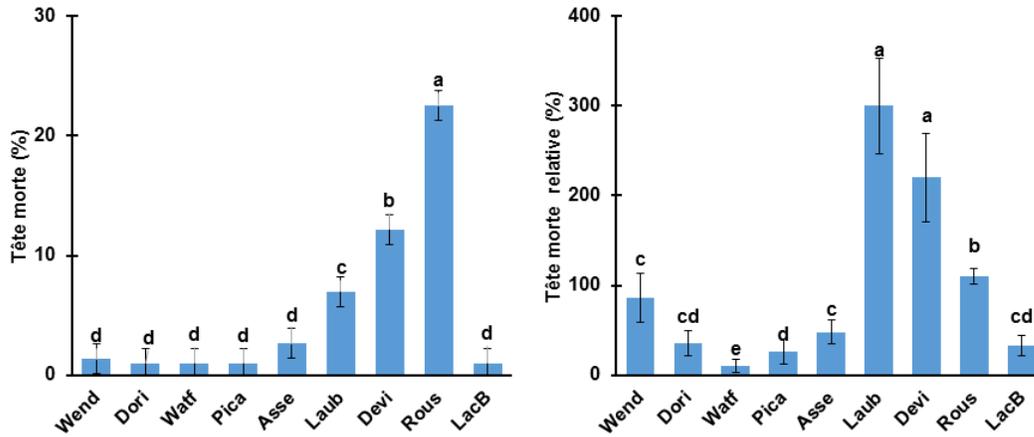


Figure 4: Proportion de têtes mortes et relative de têtes mortes des arbres des deux vergers à graines de deuxième génération à la fin de la troisième saison de croissance dans les neuf sites de plantation à l'échelle du Québec.

### *Sélection du modèle*

Les variables retenues dans le modèle sélectionné pour chacune des variables réponses sont présentées dans le tableau 4, à l'exception de S3. Ces modèles sont ajustés adéquatement aux données (Tableau 4, Figure S1). Nous n'avons pas trouvé de modèle explicatif pour la proportion relative de tête mortes.

### *Croissance et survie relative des deux vergers dans les régions écologiques du Québec*

Le patron de croissance relative des deux vergers est nettement influencé par l'aridité, ce qui explique la forte croissance relative observée à l'Est du Québec (Figure 5). À l'exception de la sous-région écologique 5eS, la croissance relative (H3r) est supérieure à 100% dans toutes les régions écologiques (1 à 5) (Figure 5). La survie relative (S3r) des deux vergers variait quant à elle entre 84 et 105% et la plus faible S3r a été obtenue au centre du territoire québécois (Figure 6).

Dans la région 5, la croissance relative dépasse la limite de 110 % sauf dans les sous-régions 5aT et 5cS (Figure 7). La survie relative variait entre 90 et 103 % dans la région 5. (Figure 8). Les sous-régions de l'ouest et du centre ont un faible taux de survie relative comparativement aux sous-régions de l'Est (Figure 8).

**Tableau 3:** Modèle sélectionné et son coefficient de détermination pour chaque variable réponse étudiée (n=18).

Variable réponse	Modèle sélectionné	R <sup>2</sup> ajusté
<b>Hauteur (H3)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ TMSC (linéaire et quadratique)</li> <li>✓ VPD utile</li> <li>✓ Précipitation utile (linéaire et quadratique)</li> </ul>	<b>0.89</b>
<b>Hauteur relative (H3r)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ PGA (linéaire et quadratique)</li> <li>✓ VPD_U</li> <li>✓ Aridité</li> </ul>	<b>0.54</b>
<b>Survie (S3)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ TMSC</li> <li>✓ TAM</li> </ul>	<b>0.32</b>
<b>Survie relative (S3r)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ DGP</li> <li>✓ TAM (linéaire et quadratique)</li> </ul>	<b>0.76</b>
<b>Tête morte (T3)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ TAM</li> <li>✓ DGP</li> <li>✓ Précipitation utile</li> <li>✓ Jours consécutifs sans gel</li> </ul>	<b>0.91</b>

PGA, date du premier gel automnal; DGP, date du dernier gel printanier; TAM, température annuelle moyenne; TMSC, température moyenne de la saison de croissance; VPD, déficit de vapeur d'eau; JCSG, Jours consécutifs sans gel. Tous les modèles présentaient une *P*-value <0.05. Les paramètres des modèles sont dans le tableau S1.

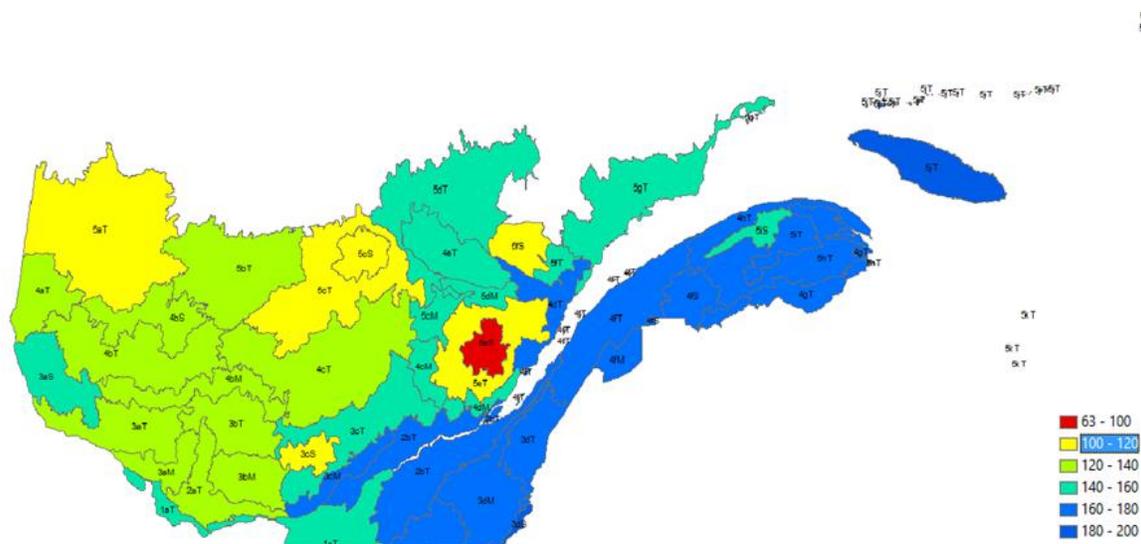


Figure 5 : Croissance relative moyenne (H3r) des deux vergers à graines de deuxième génération par sous-région dans les régions écologiques 1 à 5.



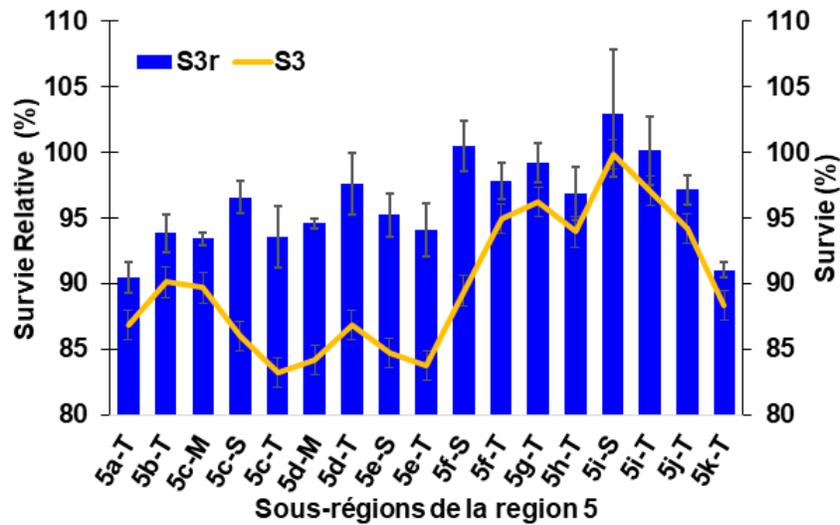


Figure 8 : Survie relative moyenne (S3r) et Survie (S3) des deux vergers à graines de deuxième génération dans les sous-régions de la région écologique 5.

#### IV. Recommandations

Les résultats démontrent qu'il est possible d'étendre les territoires d'utilisation des deux vergers à graines de deuxième génération vers le nord et vers l'est (Objectif 1). En effet, les deux vergers à graines présentaient une croissance supérieure à celle des vergers locaux de première génération dans les régions écologiques 1 à 4 et dans la majorité des sous-régions de la région écologique 5. Ils présentaient également une survie relative se situant entre 90 et 100 % sauf dans certaines sous-régions au centre de la province.

Le comportement similaire des deux vergers à graines dans les régions testées pourrait s'expliquer en partie par i) la grande proportion des familles communes (plus de 50%) aux deux vergers à graines, et ii) des variations de la contribution des clones selon les années semencières. Par mesure de précaution, nous recommandons tout de même de limiter les territoires d'utilisation du verger de Berthier (V2) aux régions écologiques 1-4 et ceux du verger de Ste-Luce (V2-PLU) aux régions 4 et 5 (Objectif 2).

Pour les sous-régions 5a-T, 5e-S et 5c-S, comme la croissance relative et la survie relative prédites pour les vergers de deuxième génération sont plus faibles, nous recommandons d'utiliser en priorité les semences récoltées sur les arbres sélectionnés dans les familles présentes uniquement dans le verger de Ste-Luce (V2-PLU), soit les familles suivantes (Tableau 4):

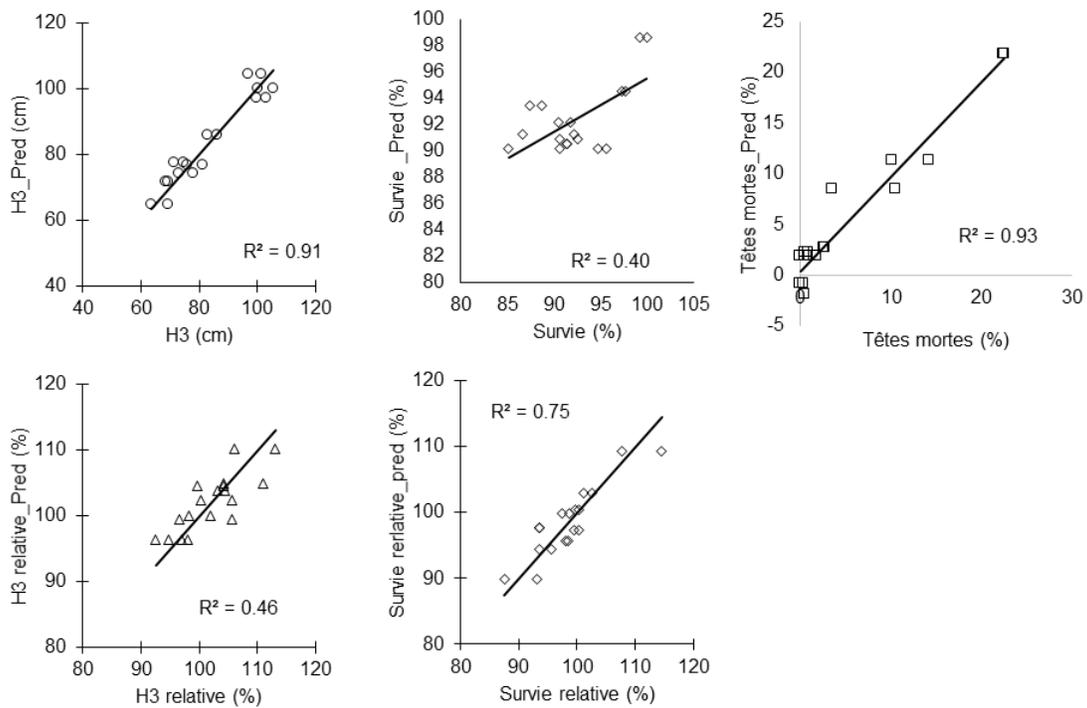
Tableau 4 : Liste des familles spécifiques au verger de Ste-Luce

Nom de la provenance	Numéro de famille	
	Tests CFL	
	410	560
Canton Laterrière	53	
Kamouraska	139	
Valcartier	187	
Bois Franc-Perriche	225	
Ste-Émilie-de-l'Énergie	235	
Racine	241	
Canton Derby (ON)	256	
Canton Boyer		44
Canton Booth		48
Canton Desaulniers		106
Canton Desaulniers		110
Canton Lesage		118

Il n'est pas possible actuellement de déterminer si le gain génétique avancé de 15% en hauteur pour les vergers de deuxième génération qui peuvent être étendus aux nouveaux territoires (Objectif 3). Les tests sur lesquels sont basés nos résultats sont encore trop jeunes même pour les territoires déjà couverts par les vergers. Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que dans plusieurs des sites testés, les semis des vergers de deuxième génération ont une croissance supérieure à celle des semis des vergers de première génération dit locaux. Il faudra encore quelques années avant de pouvoir se prononcer sur les gains réels.

En ce qui concerne l'objectif 4, si le ministère souhaitait augmenter la proportion de certains parents pour mieux couvrir le domaine bioclimatique 5, nous recommandons que ces parents viennent des familles dont la liste est fournie ci-dessus (Tableau 4), soit celles qui ont été sélectionnées uniquement pour le verger de Ste-Luce (V2-PLU).

## V. Données supplémentaires



30

Figure S1: Régression des valeurs prédites en fonction des valeurs mesurées pour les cinq variables réponse étudiées. La valeur de  $P$  pour toutes les courbes est  $<0.05$ .

Tableau S1 : Paramètres du modèle sélectionné pour la Hauteur (H3), la hauteur relative (H3r), la survie (S3) et la survie relative (S3r).

Variabes	Paramètre	ET	T	P-value
<b>H3</b>				
Ordonnée à l'origine	-1231.70	305.68	-4.03	0.0017
Précipitation utile	3.75	0.91	4.1	0.0015
Précipitation utile <sup>2</sup>	-0.005	0.001	-3.87	0.0022
Déficit de vapeur d'eau utile	0.17	0.025	6.84	<.0001
TMSC	-3.88	1.24	-3.13	0.0087
TMSC <sup>2</sup>	88.30	35.37	2.5	0.0281
<b>H3r</b>				
Ordonnée à l'origine	-3701.34	1757.24	-2.37	0.076
Date du premier gel automnal	29.10	13.34	2.40	0.074
Date du premier gel automnal <sup>2</sup>	-0.051	0.030	-2.33	0.080
Déficit de vapeur d'eau utile	-0.046	0.011	-4.05	0.0014
Aridité	-1.31	0.59	-3.70	0.028
<b>S3</b>				
Ordonnée à l'origine	151.12	18.79	8.04	0.001
Température annuelle moyenne	1.24	0.60	1.98	0.08
TMSC	-4.32	1.40	-3.08	0.007
<b>S3r</b>				
Ordonnée à l'origine	178.15	15.39	11.57	<.0001
Date du dernier gel printanier	-0.49	0.10	-4.77	0.0003
Température annuelle moyenne	-6.01	1.79	-3.35	0.0048
Température annuelle moyenne <sup>2</sup>	0.67	0.28	2.34	0.0344

ET, erreur type des estimés ; T, valeur du test T, TMSC : Température moyenne de la saison de croissance (période entre les trois derniers gel consécutifs ( $T_{min}<0$ ) au printemps, et les trois premiers gels consécutifs à l'automne).