

PROGRAMME D'INNOVATION DANS LES COLLÈGES ET LA COMMUNAUTÉ : RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT APPLIQUÉE-NIVEAU 2

Abrégé

RECHERCHE SUR L'EFFICACITE DE HAIES BRISE-VENT PRODUCTIVES

Présenté à :

Ferme Anlousie

Monsieur André Simard, propriétaire

Par :



CERFO

Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Emmanuelle Boulfroy, M.Sc.
Philippe Bournival, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Mélanie Ruel, ing.f.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

et



Danielle Babin, professeure
Denis Malenfant, ing.f.
Département des technologies
du bois et de la forêt

Juin 2016

Mots-clés : haie brise-vent productive, plantation, argousier, peuplier hybride, Côte-de-Beaupré

Référence à citer :

Bouffroy, E., P. Bournival, D. Blouin, M. Ruel, G. Lessard, D. Babin et D. Malenfant. 2016. Recherche sur l'efficacité de haies brise-vent productives - Abrégé. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2016-13. 58 pages

TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Résumé long.....	v
Remerciements	viii
1. Introduction.....	1
2. Objectifs	2
3. Hypothèses de recherche.....	3
3.1. Survie et croissance des plants	3
3.2. Problèmes rencontrés sur les plants.....	3
3.3. Interactions entre les espèces.....	4
3.4. Entretien.....	4
3.5. Évaluation des premières productions de fruits d'argousier	4
3.6. Évaluation de l'effet des haies sur les cultures.....	4
4. Grandes étapes méthodologiques.....	5
4.1. Revue de littérature (2013).....	5
4.2. Implantation du dispositif (2013)	6
4.2.1. Localisation du dispositif	6
4.2.2. Évaluation préalable à l'implantation du dispositif.....	7
4.2.3. Plan du dispositif et l'implantation	9
4.3. Entretiens réalisés durant les 3 années	12
4.4. Mesures réalisées durant les 3 années	12
5. Principaux résultats	14
5.1. Portrait de la croissance des espèces arborescentes 3 ans après la plantation (2015)	14
5.1.1. Hauteur des plants de peuplier hybride	14
5.1.2. Hauteur des plants de mélèze hybride et érable à sucre	16
5.1.3. Diamètres des plants de peuplier hybride et mélèze hybride	17
5.2. Portrait de la hauteur de l'argousier	19
5.3. Mortalité et problèmes rencontrés sur les plants	22
5.3.1. Espèces arborescentes (peuplier hybride, mélèze hybride et érable à sucre).....	22
5.3.2. Argousier.....	24
5.4. Production fruitière de l'argousier.....	25
5.5. Effet de la haie brise-vent sur les cultures céréalières.....	28
5.6. Bilan.....	29
6. Discussion	31
6.1. Survie et croissance des plants	31
6.2. Problèmes rencontrés sur les plants.....	35
6.3. Interactions entre les espèces.....	38
6.4. Entretien.....	39
6.5. Évaluation des premières productions de fruits d'argousier	40
6.6. Évaluation de l'effet des haies sur les cultures.....	41
7. Recommandations	42
7.1. Travaux d'entretien à prévoir dans le futur	42
7.1.1. Désherbage	42

7.1.2.	Taille et élagage des espèces arborescentes	43
7.1.3.	Récolte des fruits et taille des argousiers	46
7.2.	Importance de faire des suivis du dispositif dans le futur	49
7.3.	Scénario d'évolution à long terme.....	50
Conclusion.....		52
Références		53

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du dispositif expérimental de haies brise-vent productives.....	6
Figure 2. Localisation des haies brise-vent productives.....	7
Figure 3. Plan du dispositif expérimental de haies brise-vent productives	11
Figure 4. Mesurage de la production fruitière d'un plant d'argousiers	13
Figure 5. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de sol pour le clone # 81	15
Figure 6. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de clone pour le sable modérément à bien drainé (R3).....	15
Figure 7. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de haie brise-vent pour le clone # 81	16
Figure 8. Hauteur des argousiers en fonction du type de cultivar pour des plants situés dans une haie brise-vent AAA et sur une argile mal drainée (R4).....	21
Figure 9. Hauteur des argousiers en fonction du type de haie brise-vent pour le cultivar Etna situé sur une argile mal drainée.....	21
Figure 10. Hauteur des argousiers en fonction du type de sol pour le cultivar Etna situé sur une haie brise-vent AAA.....	22
Figure 11. Probabilité de mortalité de l'argousier en fonction des cultivars.....	24
Figure 12. Probabilité de mortalité de l'argousier en fonction du type de sol.....	25
Figure 13. Poids moyen des fruits d'argousiers en fonction du cultivar	26
Figure 14. Poids moyen des fruits d'argousiers en fonction du type de sol	27
Figure 15. Différence entre taille de formation et élagage.	44
Figure 16. Exemple de conduite d'un arbre avec taille de formation et élagage.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Hauteur des peupliers hybrides par type de haie brise-vent, sol et clones	14
Tableau 2.	Hauteur du mélèze hybride et de l'érable à sucre par type de sol pour la haie brise-vent APE.....	17
Tableau 3.	Diamètre à hauteur de poitrine des peupliers hybrides par type de haie brise-vent, sol et clones.....	18
Tableau 4.	Diamètre à hauteur de poitrine du mélèze hybride par type de sol pour la haie brise-vent APE.....	18
Tableau 5.	Hauteur de l'argousier par type de haie brise-vent, sol et cultivars	20
Tableau 6.	Taux de mortalité des peupliers hybrides, mélèzes et érables à sucre en fonction du type de sol	23
Tableau 7.	Taux de mortalité, têtes sèches, têtes multiples et de spores jaunes chez le peuplier hybride par clone	23
Tableau 8.	Taux de têtes sèches et de têtes multiples des peupliers hybrides, mélèzes et érables à sucre	24
Tableau 9.	Nombre de fruits produits par cultivar	26
Tableau 10.	Proportion moyenne des fruits infectés par la moisissure grise par plant et par cultivar	27
Tableau 11.	Densité des plants de céréales par type de haies brise-vent et distance par rapport à la haie.....	28
Tableau 12.	Hauteur des céréales par type de haie brise-vent et distance par rapport à la haie..	28

RESUME LONG

Ferme Anlousie est une entreprise productrice de céréales d'automne, située sur la Côte-de-Beaupré. Or, cette région est sujette à des vents qui peuvent être violents, engendrant plusieurs effets néfastes sur la production céréalière. Dans ce contexte, Ferme Anlousie est intéressée à se documenter sur les effets bénéfiques que pourraient produire des haies brise-vent sur sa production. Ce projet a donc pour but d'implanter sur les terres de la ferme Anlousie, un dispositif expérimental de haies brise-vent, afin non seulement de diminuer les impacts négatifs des vents violents, mais aussi de compenser les pertes de productivité agricole en rendant les haies productives. Les principaux objectifs visés par ce projet sont sur un horizon de 3 années :

- 1) Évaluer la survie, la croissance ainsi que la présence de problèmes phytosanitaires et de malformations des différents plants mis en terre dans les différents types de haies brise-vent ;
- 2) Évaluer les premières productions de fruits d'argousier en fonction des clones ainsi que des types de haies et de sol ;
- 3) Évaluer si la présence d'espèces à croissance rapide a un effet sur la croissance des autres espèces (entre autres, l'argousier), par l'ombrage qui est généré ;
- 4) Évaluer si la présence d'argousiers près des arbres a des effets bénéfiques sur leur croissance, en raison de sa faculté à fixer l'azote du sol ;
- 5) Évaluer l'effet protecteur de ces haies sur la production des cultures céréalières.

L'analyse des besoins de l'agriculteur, des types de sol présents et des exigences de différentes espèces à planter a guidé le choix du design du dispositif expérimental et des essences les plus propices à implanter dans les haies brise-vent. Les principales essences arborescentes retenues sont le peuplier hybride (3 clones), le mélèze hybride (1 clone) et l'érable à sucre. Le chêne rouge et le frêne d'Amérique ont été ajoutés dans certains tests, afin de vérifier leur capacité de survie et de croissance dans ce milieu situé à la limite nord de leur zone de rusticité. Le choix de l'argousier comme arbustes productifs de petits fruits comestibles (argouses) représente l'originalité du projet puisqu'il y a peu de haies brise-vent productives intégrant l'argousier au Québec. Cet arbuste est un bon choix puisque c'est une plante rustique bien adaptée à nos climats. De plus, les vertus de son fruit et même de ses feuilles sont nombreuses, rendant ainsi l'argousier intéressant d'un point de vue économique et de la santé. Sept cultivars différents ont été testés. L'ensemble des informations sur les espèces retenues dans le dispositif est présenté en détail dans la revue de littérature de Beaudoin Nadeau *et al.* (2016).

Le dispositif expérimental comprend 5 différents types de haies brise-vent à tester (traitements) :

- Trois rangées d'argousiers (traitement AAA) ;
- Une seule rangée de peupliers hybrides (P) ;
- Deux rangées d'argousiers et au centre une rangée de peupliers (APA) ;
- Une rangée d'argousiers, une rangée de peupliers et une rangée d'érables à sucre et de mélèzes hybrides en alternance (APE) ;
- Un témoin (aucun plant).

Afin de contrôler la variabilité associée au type de sol, chaque type de haies a été répété sur 3 différents types de sol (répétitions R1 et R2 sur le loam argileux bien drainé, R3 sur le sable de modérément à bien drainé et R4 sur l'argile mal drainée). L'ensemble de la démarche méthodologique qui a été suivie est décrite en détail dans Ruel *et al.* (2016).

Après trois années de croissance pour les espèces arborescentes et de deux années pour l'argousier, on peut dresser les bilans suivants. Tout d'abord, le portrait des peupliers hybrides montre que le type de sol et le type de clone ont des effets significatifs sur la hauteur et le diamètre des plants. Le type de haie n'est pas un facteur significatif lorsque l'on analyse tous les clones ensemble, mais pour le clone # 81, les plants sont plus hauts dans les haies avec argousiers (APA et APE) que dans les haies sans (P). Il est donc possible que l'effet bénéfique de l'argousier par ses propriétés fixatrices d'azote se soit déjà fait sentir. De plus, le clone # 81 performe nettement mieux que les deux autres (# 89 et 92) et la croissance en hauteur et en diamètre est supérieure dans les sables de modérément à bien drainés (R3) et les argiles mal drainées (R4) que dans les loams argileux bien drainés (R1 et R2). Le taux de têtes sèches et de têtes multiples est le plus faible chez le peuplier hybride en comparaison aux deux autres espèces arborescentes.

Pour le mélèze hybride, la hauteur et le diamètre ont aussi été influencés par le type de sol, avec des résultats supérieurs dans les sables de modérément à bien drainés (R3). Le type de haie n'a aucune incidence sur la croissance jusqu'à maintenant. Leur taux de mortalité et de têtes sèches est très faible tandis que le taux de têtes multiples est modéré (17 %).

L'érable à sucre ne présente pas de différence significative de hauteur ni de diamètre selon le type de sol et le type de haie. Comme c'est une espèce à croissance plus lente, il est possible que les effets ne se soient pas encore fait sentir. Comme pour les autres espèces, le taux de mortalité

est nul et le taux de têtes sèches est très faible. Par contre, les érables à sucre ont une fréquence de têtes multiples élevée (57 %) entraînant des besoins importants en taille de formation.

Quant à l'argousier, les résultats de croissance montrent un effet significatif très fort du cultivar. Ainsi Etna est celui qui a le mieux performé pour la hauteur et la production fruitière (nombre de fruits). Les cultivars Inya et Alataiskaya le suivent de près. Etna et Klavdiya ont aussi produit les plus gros fruits, suivis par Inya et Altaiskaya. Le type de sol et le type de haie influencent également significativement la croissance des plants et dans le cas du clone Etna, ce sont les haies AAA et l'argile mal drainée (R4) qui ont les plants les plus hauts. Ainsi, sans espèces arborescentes à proximité et donc avec moins de compétition pour la lumière, la haie AAA avantage la croissance des argousiers. L'argile mal drainée favorise aussi la présence des plus gros fruits, et ce, pour tous les cultivars. Le type de haie n'influence, par contre, pas la production fruitière à court terme. Enfin, le taux de mortalité des argousiers est plus faible (<5 %) chez les cultivars Altaiskaya, Inya et Etna que chez Klavdiya et Tadjana.

Concernant l'effet de la haie brise-vent sur la hauteur et la densité des cultures céréalières, aucune tendance notable n'a pu être observée en 2015. Le dispositif est probablement encore trop jeune et les plants trop petits pour que l'on puisse en observer les effets.

Bien que l'objectif initial du projet fût d'implanter un dispositif expérimental de haies brise-vent productives et d'en faire un suivi sur une période de 3 ans, d'autres suivis et travaux devront également être planifiés dans le futur pour assurer la survie et la bonne croissance des plants. Ainsi, des suivis phytosanitaires et des travaux de désherbage à proximité des plants devront être réalisés annuellement pendant encore plusieurs années. Des tailles de formation et l'élagage sur les plants d'espèces arborescentes devront également être réalisés selon leurs besoins (présence de têtes multiples, de branches dans la portion basse du tronc) et les risques de bris de têtes des plants d'argousier par les nombreuses branches basses présentes chez les peupliers et mélèzes hybrides. Une taille de formation des plants d'argousier devra aussi être réalisée à court terme, afin de favoriser le développement d'une architecture optimale des plants. D'autres suivis des différents paramètres de croissance, de productions fruitière et céréalière devront aussi être réalisés à moyen terme, afin d'apporter des réponses à toutes les hypothèses de recherche, étant donné le trop jeune âge de ce dispositif.

Finalement, dans une vision à plus long terme, des scénarios d'évolution de récolte de chaque type de haie sont proposés afin d'anticiper les périodes de récolte des essences de longévité variée constituant le dispositif.

REMERCIEMENTS

Le Cégep de Sainte-Foy et le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) souhaitent remercier le CRSNG pour le financement accordé dans le cadre du Programme d'innovation dans les collèges et la communauté : Recherche et Développement appliquée (niveaux 1 et 2) qui était essentiel à la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs pour avoir fourni gratuitement les plants de peupliers hybrides, mélèzes hybrides, érables à sucre, frênes d'Amérique et chênes rouges pour les haies brise-vent.

Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec a contribué, quant à lui, au financement du paillis, des agrafes pour le paillis et des argousiers via le Programme pilote d'appui à la multifonctionnalité de l'agriculture. La participation financière du MAPAQ était aussi essentielle pour réaliser ce projet.

Plusieurs individus ont joué un rôle majeur dans ce projet et nous les en remercions vivement :

- M. André Simard, propriétaire de la ferme Anlousie, qui a montré un vif intérêt à ce projet et y a consacré de nombreuses heures de travail.
- M. André Nicole, président de l'Association des producteurs d'argousiers du Québec qui a contribué au financement de 50 % des plants d'argousiers et a toujours été disponible pour nous donner de précieux conseils ;
- Deux experts en agroforesterie, M. André Vézina de Biopterre et M. Martin Trépanier de l'Université Laval, dont la contribution, tout au long du projet, a été fort appréciée et pour les judicieux conseils qu'ils nous ont donnés.

Enfin, nous aimerions remercier les étudiants qui ont participé au projet : Sylvain Germain, David Langlois, Antoine Desrochers, Martin Beaudoin-Nadeau et Hugo Tremblay.

1. INTRODUCTION

Ferme Anlousie est une entreprise qui produit des céréales d'automne (seigle, blé, épeautre) certifiées biologiques. Elle est située dans la municipalité de Sainte-Anne-de-Beaupré (Québec). On enregistre chaque année dans ce secteur, des rafales de vent qui dépassent 100 km/h. Ces rafales engendrent plusieurs effets néfastes sur la production céréalière. Tout d'abord, elles renversent une certaine proportion des tiges qui deviennent alors non récoltables. Elles balayent également la neige des champs en hiver, provoquant fréquemment des gels plus importants au sol et entraînant alors des problèmes de germination des semences qui sont mises en terre au mois de septembre et qui passent l'hiver dans le champ.

Pour atténuer ces problèmes, la plantation de haies brise-vent en bordure des champs représente une pratique culturelle intéressante. Cependant, les producteurs sont souvent hésitants à les implanter, car elles sont perçues comme une perte de superficie productive. En considérant la recrudescence et l'amplification des événements météorologiques extrêmes associés aux changements climatiques, la présence de telles haies risque de devenir une nécessité.

L'une des pistes de solutions envisageables consiste à implanter des haies brise-vent productives et économiquement rentables, composées à la fois d'arbres pour la production de bois et d'arbustes fruitiers pour des récoltes annuelles. La production de tiges de qualité pour la production de bois est favorisée par la présence des arbustes qui forcent la croissance en hauteur et limitent la présence de branches latérales basses.

Dans ce contexte, un projet visant à tester différents types de haies brise-vent a été réalisé par le CERFO et le Cégep de Sainte-Foy entre 2013 et 2016, afin de comparer leur potentiel de production (bois et fruits) et leur effet protecteur pour les céréales. Trois documents complémentaires ont été produits afin de présenter les résultats de recherche de ce projet :

- **Une revue de littérature** sur les haies brise-vent et l'utilisation de l'argousier comme espèce plantée dans ce type de structure (Beaudoin Nadeau *et al.* 2016) ;
- **Un rapport méthodologique** qui décrit plus en détail l'implantation du dispositif expérimental et les mesures réalisées sur le terrain (Ruel *et al.* 2016) ;
- **Un rapport abrégé** qui constitue un résumé de la méthodologie utilisée et des principaux résultats de recherche obtenus. Le présent document constitue le rapport abrégé.

2. OBJECTIFS

Le but du projet réalisé sur 3 années consiste à installer un dispositif expérimental de haies brise-vent productives et d'en faire le suivi à court terme sur une période de 3 ans.

Les objectifs spécifiques du projet sur un horizon de 3 années sont :

1. Évaluer la survie et la croissance des différents plants mis en terre dans les haies brise-vent ;
2. Évaluer les problèmes de broutage et phytosanitaires des différents plants des haies brise-vent ;
3. Évaluer si la présence d'espèces à croissance rapide a un impact sur la croissance des autres espèces, par l'ombrage qui est généré ;
4. Évaluer si la présence d'argousiers près des arbres a des effets bénéfiques sur leur croissance, en raison de sa faculté à fixer l'azote du sol ;
5. Formuler des recommandations pour l'entretien à court et moyen termes ;
6. Évaluer les premières productions de fruits d'argousier ;
7. Évaluer l'effet protecteur de ces haies sur la production des cultures céréalières.

D'autres suivis plus tardifs, notamment lorsque les argousiers produiront davantage à partir de 7 ans après la plantation, devraient également être planifiés et représentent des objectifs à plus long terme.

3. HYPOTHESES DE RECHERCHE

Les sections suivantes décrivent les hypothèses de recherche qui ont guidé ce projet. Les réponses à ces hypothèses sont détaillées dans la section discussion de ce rapport.

3.1. SURVIE ET CROISSANCE DES PLANTS

1. Les **argousiers** ont une meilleure survie et croissance dans les répétitions R1 (loam argileux bien drainé), R2 (loam argileux bien drainé) et R3 (sable modérément bien drainé) comparativement à R4 (argile mal drainée), puisque selon la littérature, l'argousier s'adapte à tous types de sol, pourvu que le drainage soit excellent (Trépanier, communication personnelle).
2. Le taux de survie et la croissance des **argousiers** sont différents en fonction des cultivars.
3. Le taux de survie et la croissance des **peupliers hybrides** sont meilleurs dans les répétitions R1 (loam argileux bien drainé), R2 (loam argileux bien drainé) et R3 (sable modérément bien drainé) comparativement à R4 (argile mal drainée), puisque selon la littérature, le peuplier risque de souffrir d'un surplus d'eau dû au mauvais drainage.
4. La croissance et le taux de survie des **peupliers hybrides** sont différents en fonction des clones.
5. Les plants d'**érable à sucre** étant peu tolérants aux conditions de sécheresse (Nyland, 1999), leur croissance et leur survie sont plus performantes sur R3 (sable modérément bien drainé) et R4 (argile mal drainée) comparativement à R1 et R2 (loam argileux bien drainé).
6. Les **mélèzes hybrides** ont une meilleure croissance sur les loams argileux bien drainés (R1 et R2) et les sables modérément bien drainés (R3) comparativement à l'argile mal drainée (R4), car selon la littérature, cette espèce ne tolère pas bien les sols principalement composés d'argiles lourdes.

3.2. PROBLEMES RENCONTRES SUR LES PLANTS

7. Parmi toutes les espèces, l'**érable à sucre** est celle qui présente le plus haut risque de malformations (têtes sèches et têtes multiples), en particulier, parce que les jeunes semis sont très sensibles au dessèchement des bourgeons par le froid, les gelées et le vent (Nyland, 1999).
8. Certains clones de **peupliers hybrides** sont plus sensibles au chancre septorien (*Septoria musiva*), à la rouille (*Melampsora medusae*) et aux problèmes foliaires tels que la brunissure des feuilles (*Marssonina brunnea*) et la tache septorienne (*Septoria musiva*).

3.3. INTERACTIONS ENTRE LES ESPECES

9. Plusieurs scénarios de récolte sont à prévoir et varient en fonction des **combinaisons d'espèces arborescentes** qui constituent les différents types de haies brise-vent.
10. L'**argousier** étant une espèce de lumière peu compétitrice (Li & McLoughlin, 1997), la croissance de cette espèce est plus performante dans le traitement AAA comparativement aux traitements APE et APA, dans lesquels la présence du peuplier hybride engendre une certaine compétition en raison de l'ombre qu'il génère par sa hauteur.
11. La croissance des **peupliers hybrides** est plus rapide lorsqu'il est planté à proximité de l'argousier (traitements APA et APE comparativement au traitement P) puisque l'argousier permet de fixer l'azote dans le sol (Li & Schroeder, 1996).
12. La présence d'une rangée d'argousiers à proximité des espèces tend à favoriser la formation de bois de qualité en exerçant une pression latérale et en diminuant la proportion de branches latérales (qui forment des nœuds dans le bois).

3.4. ENTRETIEN

13. Certains clones de **peupliers hybrides** ont davantage besoin d'une taille de formation.

3.5. ÉVALUATION DES PREMIERES PRODUCTIONS DE FRUITS D'ARGOUSIER

14. La quantité de fruits produits diffère en fonction des cultivars d'argousier, des espèces compagnes et des types de sol.

3.6. ÉVALUATION DE L'EFFET DES HAIES SUR LES CULTURES

15. L'effet du vent sur les cultures est différent selon le type de haie brise-vent.

4. GRANDES ETAPES METHODOLOGIQUES

Les grandes étapes méthodologiques du projet ont consisté en premier lieu à faire une revue de littérature relativement exhaustive, afin de documenter adéquatement les choix d'espèces et les patrons de plantations des haies brise-vent retenus pour le dispositif expérimental. L'étape d'implantation du dispositif expérimental a suivi en 2013. Durant les deux années suivantes (2014 et 2015), des mesures ont été prises à plusieurs reprises, afin de suivre la croissance des plants et leur état phytosanitaire. L'effet des haies brise-vent sur les productions céréalières et fruitières de l'argousier a été évalué lors de la dernière année de mesure (2015). L'ensemble de la démarche méthodologique est présentée en détail dans Ruel *et al.* (2016). Cette section en constitue un résumé.

4.1. REVUE DE LITTERATURE (2013)

Le projet a débuté par une revue de littérature, de manière à mieux comprendre **les fonctions des haies brise-vent ainsi que les avantages et les inconvénients qu'elles procurent**. Les questions de synergie, compatibilité et complémentarité entre espèces ont également été abordées.

L'argousier étant un arbuste relativement peu connu au Québec, il a fait l'objet d'une documentation importante (habitat, exigences écologiques, rendement et croissance en culture, sensibilité aux insectes et maladies, production et caractérisation nutritive des fruits, besoins d'entretien, bénéfices et inconvénients apportés aux autres plantes), afin de confirmer qu'il constitue un choix intéressant comme essence à planter dans une haie brise-vent.

Les autres espèces qui étaient ciblées pour les haies brise-vent, adaptées aux conditions climatiques présentes sur la Côte-de-Beaupré (peuplier hybride, érable à sucre, mélèze hybride, chêne rouge, frêne d'Amérique) ont aussi fait l'objet d'une recherche, plus succincte, par contre (habitat, longévité, sensibilité aux insectes et maladies, reproduction et développement des semis, besoins d'entretien).

La revue de littérature se termine avec une section spécifique sur les caractéristiques requises d'une haie brise-vent qui contient de l'argousier tels que l'organisation spatiale des espèces, le choix des espèces compagnes et du patron, les cultivars à implanter au Québec, le ratio mâle : femelles, la production fruitière en relation avec les cultures et les arbres, et la collecte des fruits. L'ensemble de cette revue de littérature est disponible dans Beaudoin Nadeau *et al.* (2016).

4.2. IMPLANTATION DU DISPOSITIF (2013)

4.2.1. Localisation du dispositif

Le dispositif est situé dans la région de la Capitale-Nationale, sur la Côte-de-Beauport, dans la municipalité de Sainte-Anne-de-Beauport (figure 1 et 2). Selon les zones de végétation établies par le ministère de la Faune, des Forêts et des Parcs (MFFP), il se trouve dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul de l'est.

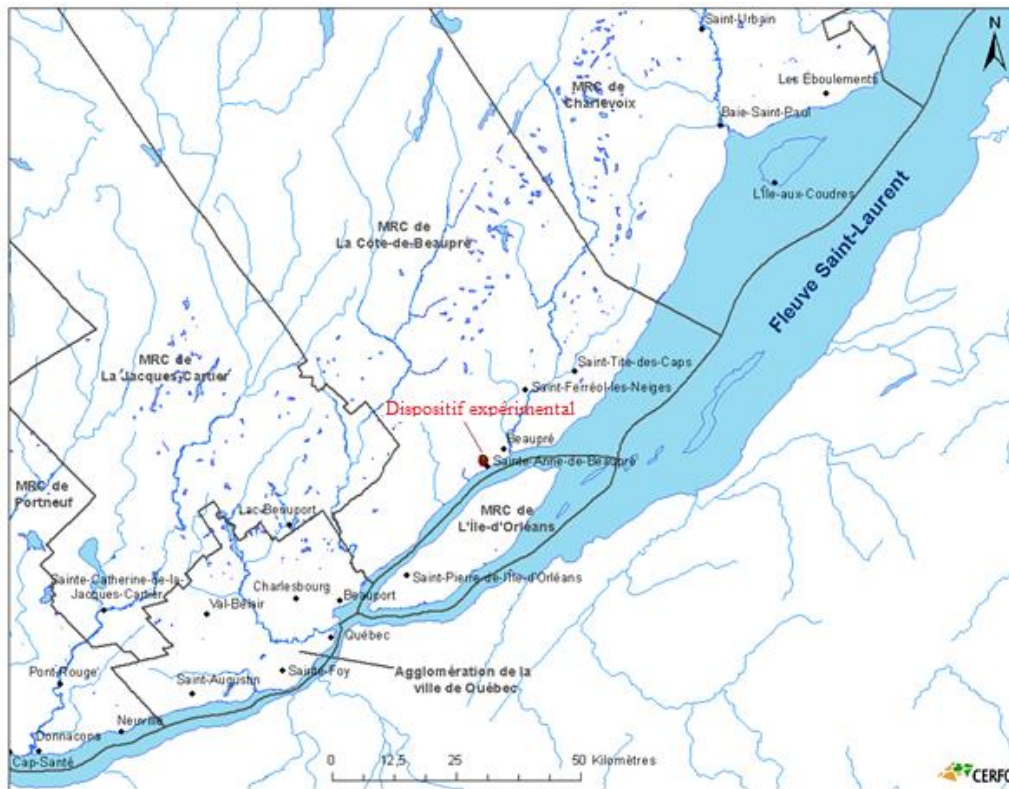


Figure 1. Localisation du dispositif expérimental de haies brise-vent productives



Figure 2. Localisation des haies brise-vent productives

4.2.2. Évaluation préalable à l’implantation du dispositif

Plusieurs analyses ont été requises avant d’implanter le dispositif. En effet, le choix des espèces et le design expérimental ont tenu compte des types de sol présents et des besoins des espèces.

4.2.2.1. Caractéristiques du sol et exigences des espèces

Une caractérisation du sol a été réalisée préalablement à l’implantation du dispositif, afin de choisir des espèces et des cultivars bien adaptés aux conditions de sol que l’on retrouve dans le secteur retenu pour le dispositif. Pour ce faire, dans un premier temps, **l’étude pédologique** diffusée par l’Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) qui couvre le territoire d’étude a été consultée et **a permis d’identifier les séries de sol¹** présentes et de connaître les caractéristiques physico-chimiques de chacun des horizons de sol qui les constituent.

¹ Les séries de sol constituent l’unité de base du système canadien de classification des sols. Une série est formée par des sols qui sont essentiellement semblables du point de vue des caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques des différents horizons, sauf l’horizon de surface (couche de labour) qui tolère une certaine déviation.

Plusieurs pédons d'un mètre de profondeur sur une surface de 1 m² ont également été creusés et ont permis de confirmer les données des séries de sol (profondeur des horizons et texture) :

- Deux pédons dans la série de sol Cazeau (loam à loam argileux), la série la plus importante en étendue sur le site du projet,
- Un pédon dans la série Éternité (sable),
- Un pédon dans la série Auteuil (loam argileux à argile).

Des échantillons de sol ont été prélevés et analysés, afin de déterminer pour chaque type de sol, le pH ainsi que la composition et la disponibilité en différents éléments minéraux. L'interprétation des analyses de sol réalisée par M. Martin Trépanier, agronome chercheur de l'Université Laval, a été mise en lien avec les exigences pédologiques des espèces et a permis de cibler les espèces qui pouvaient être retenues pour le projet.

4.2.2.2. Choix final des espèces

Après avoir considéré les besoins des espèces en fonction des **types de sol** présents (section 4.2.2.1), d'autres éléments ont été vérifiés lors du choix final, afin de s'assurer que les espèces retenues sont bien adaptées aux conditions du milieu. En effet, si elles ne le sont pas, elles ont tendance à manquer de vigueur, grandissent très lentement, sont en mauvaise santé et souvent ne survivent pas très longtemps.

Les conditions climatiques ont été considérées et la carte des zones de rusticité² utilisée en horticulture et arboriculture a été consultée, afin de ne retenir que des espèces et des cultivars adaptés à la zone qui caractérise la Côte-de-Beaupré. Le dispositif expérimental se situe dans la zone de rusticité 4a. La région de la Côte-de-Beaupré étant particulièrement exposée à des vents pouvant être forts et étant donné la fonction de brise-vent qui est recherchée par le projet de plantation, les espèces choisies devaient être relativement bien résistantes aux vents violents.

Plusieurs autres caractéristiques sont aussi recherchées chez les espèces, en fonction des objectifs du dispositif, telle **une porosité suffisante au vent**, qui permet de réduire la vitesse du vent, mais laissant tout de même passer la neige pour assurer une répartition uniforme de cette dernière dans le champ afin d'isoler les semences du froid. Avoir certaines espèces qui ont **une croissance rapide** présente aussi l'avantage d'assurer une protection contre le vent à court terme.

² La définition des zones de rusticité tient compte au Canada des températures minimales, des températures maximales d'été, de la longueur de la saison de croissance, de la période sans gel et de la durée d'ensoleillement.

Ainsi, les espèces suivantes ont été retenues pour l'implantation du dispositif de haie brise-vent :

- **L'argousier**, qui produit des fruits rapidement et possède des propriétés nutritives exceptionnelles ce qui permettra de compenser en partie les pertes de superficies cultivées habituellement par le producteur. Sept cultivars différents sont testés dans le dispositif.
- **Le peuplier hybride** qui présente l'avantage d'avoir une croissance rapide et assurera donc une protection contre le vent relativement rapidement. Trois clones différents sont testés dans le dispositif.
- **Le mélèze hybride** qui procure une porosité satisfaisante pour assurer la fonction de brise-vent en hiver (un seul clone sera planté).
- **L'érable à sucre** qui est plus sélectif quant aux conditions de sol, mais il croît bien en pleine lumière sur les terres agricoles et produit une sève plus concentrée en sucre. Étant une espèce longévive, elle pourra aussi compenser la perte de l'effet brise-vent lors de la récolte des peupliers hybrides et garantir une protection à long terme.
- **Le chêne rouge et le frêne d'Amérique** qui ont été retenus afin de vérifier leur capacité de survie et de croissance dans ce milieu qui est situé à la limite nord de leur zone de rusticité (étant donné cette incertitude, ils sont seulement présents dans certaines portions test et non dans l'ensemble du dispositif).

4.2.3. Plan du dispositif et l'implantation

Le plan du dispositif expérimental est présenté à la figure 3. Il n'est pas à l'échelle, mais permet de visualiser la disposition des unités expérimentales les unes par rapport aux autres.

Cinq types de haies brise-vent (appelés **traitements**), correspondant à plusieurs agencements d'espèces, sont testés dans le dispositif :

- **Trois rangées d'argousiers** avec différents cultivars (traitement AAA) ;
- **Une seule rangée de peupliers hybrides** avec différents clones (P) ;
- **Deux rangées d'argousiers** (incluant différents cultivars) et **au centre une rangée de peupliers** (incluant différents clones) (APA) ;
- **Une rangée d'argousiers, une rangée de peupliers et une rangée d'érables à sucre et mélèzes hybrides en alternance** (APE) ;
- Un témoin (aucun plant).

Ces différentes combinaisons d'essences ont été choisies de manière à :

- Évaluer l'apport d'espèces arborescentes sur l'effet brise-vent (hauteur du brise-vent supérieure uniquement dans le cas d'une haie d'argousiers seuls, porosité différente) ;

- Évaluer l'apport d'essences à croissance rapide sur l'effet brise-vent, en particulier, dans un horizon à court terme (ajout d'une rangée de peupliers dans certains modèles de haie brise-vent) ;
- Évaluer l'apport d'essences plus longévives que le peuplier hybride (érable à sucre, mélèze hybride) sur la durée à long terme de la protection brise-vent et la production fruitière de l'argousier.

Afin de contrôler la variabilité associée au type de sol, **ces cinq traitements sont répétés sur les trois différents types de sol** identifiés sur le site :

- R1 et R2 sur le loam argileux bien drainé ;
- R3 sur le sable de modérément à bien drainé ;
- R4 sur l'argile mal drainée.

Comme indiqué ci-dessus, **chaque traitement est répété une seule fois par type de sol (unité expérimentale)**, à l'exception du loam argileux bien drainé qui a 2 répétitions (R1 et R2), du fait que ce type de sol couvre une plus grande superficie. L'emplacement des différents traitements (type de haie brise-vent) dans chacun des blocs a été déterminé aléatoirement.

Les haies brise-vent productives ont été implantées à l'été 2013. Préalablement à l'installation des haies brise-vent, le sol a été labouré et un paillis de plastique de 48 pouces de largeur a été installé. Les espèces ligneuses ont été plantées en juin et les argousiers en septembre. Les chênes rouges et les peupliers hybrides étaient des plants à forte dimension à racines nues alors que les érables à sucre, les mélèzes hybrides et les frênes d'Amérique étaient des plants à forte dimension en récipient de 350 ml. Les argousiers étaient des plants en récipient de 2 litres. L'espacement entre 2 plants d'une même rangée et entre les rangées est de 2 m. Les plants d'une rangée sont placés en quinconce par rapport à ceux de la rangée voisine.

Le dispositif expérimental, incluant les tests 1 et 2, a nécessité la mise en terre d'un total de 1785 plants, dont 918 argousiers, 477 peupliers hybrides, 140 érables à sucre, 143 mélèzes hybrides, 52 chênes rouges et 55 frênes d'Amérique. Les proportions de clones de PEH et de cultivars d'argousier sont similaires dans chaque rangée. Chacune des 18 unités expérimentales couvre une longueur approximative de 60 m. Le dispositif est donc constitué de 1368 m de haies brise-vent productives de 1 à 3 rangées d'arbres, pour un total de 3570 mètres linéaires de plantation.

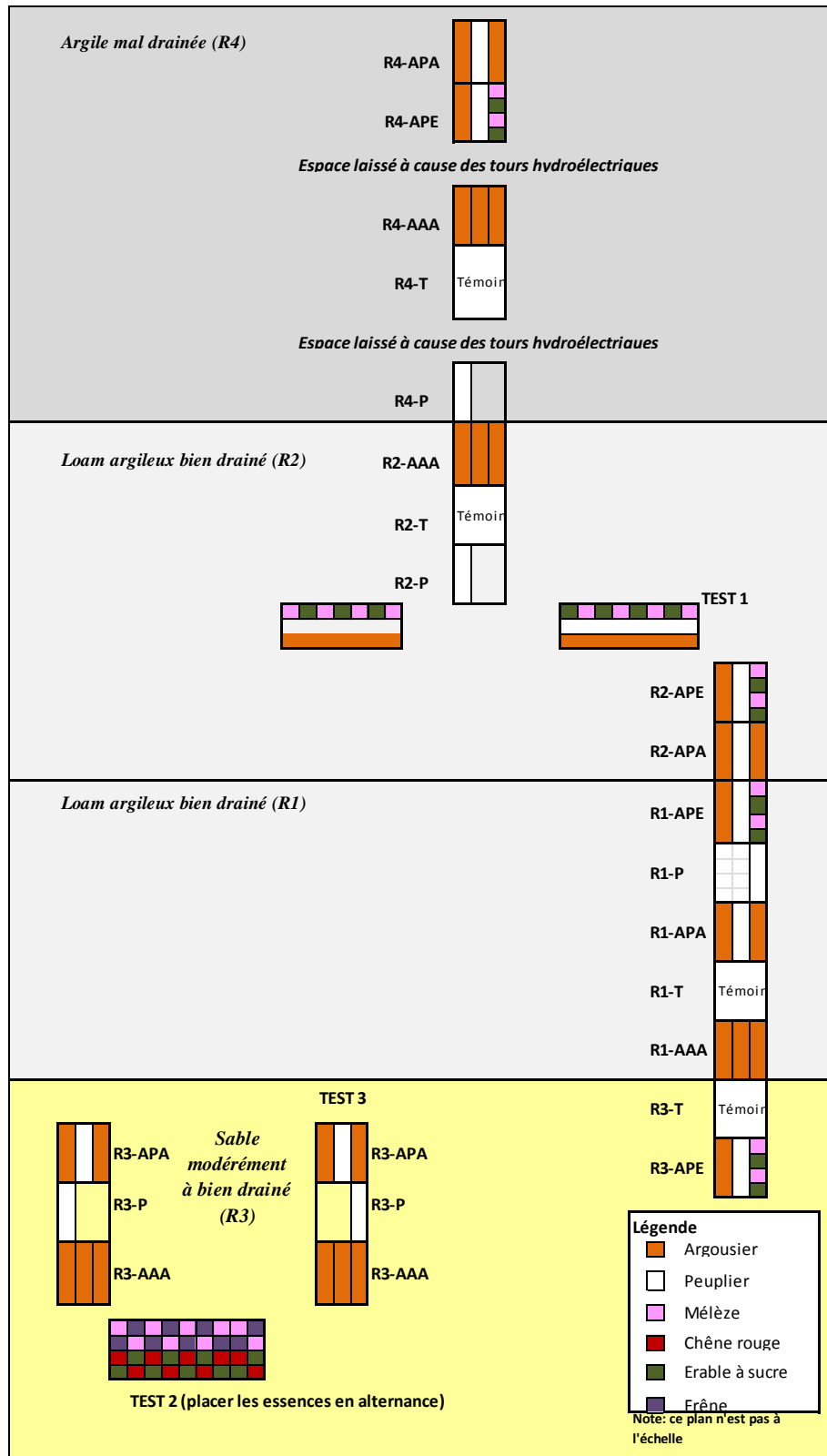


Figure 3. Plan du dispositif expérimental de haies brise-vent productives

4.3. ENTRETIENS REALISES DURANT LES 3 ANNEES

Chaque année et à plusieurs reprises, lorsque cela s'avérait nécessaire, **les herbacées aux abords des paillis ont été fauchées, débroussaillées et sarclées**, afin de limiter la compétition. À l'automne, ces entretiens sont essentiels pour éviter l'écrasement des plants par le poids de la neige qui pourrait entraîner les herbacées au sol.

Le remplacement des arbres morts a également été réalisé après le mesurage du printemps 2014.

Des tailles de formation ont été réalisées chez toutes les espèces arborescentes, à l'automne de l'année 2 (2014), dans le but de favoriser la production d'arbres droits et solides.

4.4. MESURES REALISEES DURANT LES 3 ANNEES

Afin de pouvoir être suivis dans le temps, tous les plants mis en terre ont été numérotés (ordre croissant du sud vers le nord et d'est en ouest).

Plusieurs suivis phytosanitaires ont été réalisés chaque année sur tous les plants (mortalité, défoliation, brûlures, têtes sèches, têtes multiples, broutage, marques de rongeurs sur le tronc, feuilles mangées par des insectes, champignons et tout autre problème). Un dépistage précis en fonction des insectes et maladies typiques reconnus chez chacune des espèces a eu lieu.

La hauteur totale et la hauteur vivante de tous les plants ont également été mesurées chaque année au printemps et à l'automne. La mesure du **DHP** (diamètre à hauteur de poitrine) s'est ajoutée en 2015 pour les plants de peuplier hybride et de mélèze hybride.

L'effet protecteur de la haie brise-vent sur les cultures a été évalué à la fin du mois d'août 2015, juste avant la récolte d'avoine dans les champs. Pour ce faire, des mesures de hauteur, densité et proportion de verse des céréales ont été réalisées. Des mesures exploratoires avaient aussi été réalisées en 2014, mais selon un protocole de mesure sur le terrain différent.

Enfin, la production fruitière de l'argousier a été mesurée à la mi-août 2015 (figure 4), sur des plants de 4 ans, mis en terre depuis 2 ans (en 2013). Ont été mesurés sur tous les plants, la quantité de fruits produits par classe de nombre, le nombre de branches qui portent des fruits, le poids moyen des fruits et la proportion de fruits présentant des traces de maladies.



Figure 4. Mesurage de la production fruitière d'un plant d'argousiers

5. PRINCIPAUX RESULTATS

Les sections suivantes présentent les résultats obtenus après 3 saisons de croissance pour les espèces arborescentes qui ont été mises en terre en juin 2013 et 2 années de croissance pour les argousiers qui ont été plantés en septembre 2013. Elles décrivent le portrait de la croissance des espèces arborescentes, la survie et les problèmes rencontrés sur les plants, la production fruitière de l'argousier et l'effet de la haie brise-vent sur la culture céréalière. Les méthodes de compilations et d'analyses statistiques qui ont été utilisées sont détaillées dans Ruel *et al.* (2016).

5.1. PORTRAIT DE LA CROISSANCE DES ESPECES ARBORESCENTES 3 ANS APRES LA PLANTATION (2015)

Le portrait de la croissance des espèces arborescentes comprend l'analyse de la hauteur des plants de peuplier hybride, de mélèze et d'érable à sucre ainsi que le diamètre, dans le cas du peuplier et du mélèze.

5.1.1. Hauteur des plants de peuplier hybride

Tableau 1. Hauteur des peupliers hybrides par type de haie brise-vent, sol et clones

		Types de haie brise-vent								
		APA			APE			P		
Type de sol	Clones	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC*	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC*	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC*
Loam argileux bien drainé (R1)	81	6	299	27	6	262	30	6	243	28
	89	6	261	14	6	245	13	6	243	22
	92	17	244	17	17	207	18	16	211	16
Loam argileux bien drainé (R2)	81	6	289	53	6	294	31	6	250	38
	89	5	215	39	6	263	25	6	241	28
	92	15	221	23	18	241	18	19	210	16
Sable modérément à bien drainé (R3)	81	6	337	62	6	415	46	7	338	46
	89	7	303	37	6	350	31	7	303	78
	92	19	299	40	17	369	33	19	305	49
Argile mal drainée (R4)	81	5	358	33	5	281	35	6	297	16
	89	5	293	9	5	261	15	7	268	20
	92	15	311	27	15	267	14	17	269	16

* Les lettres IC indiquent l'intervalle de confiance de la moyenne calculée.

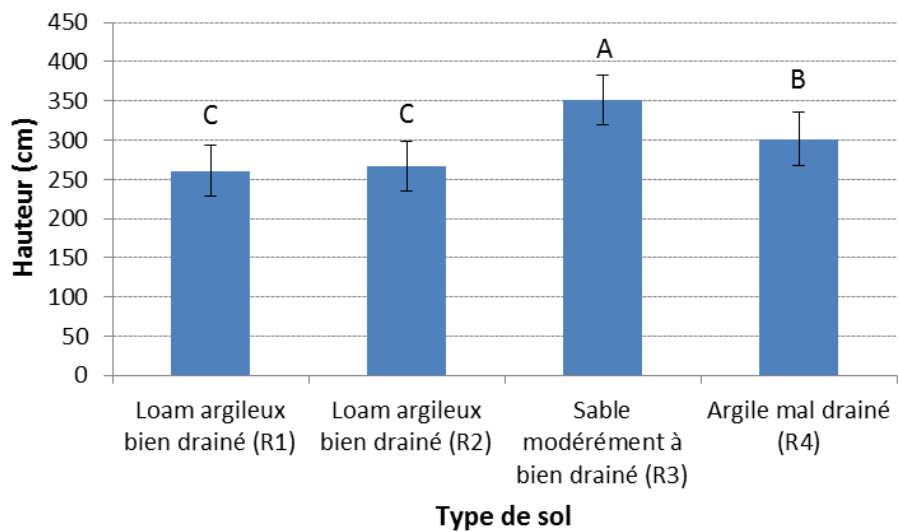


Figure 5. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de sol pour le clone # 81³

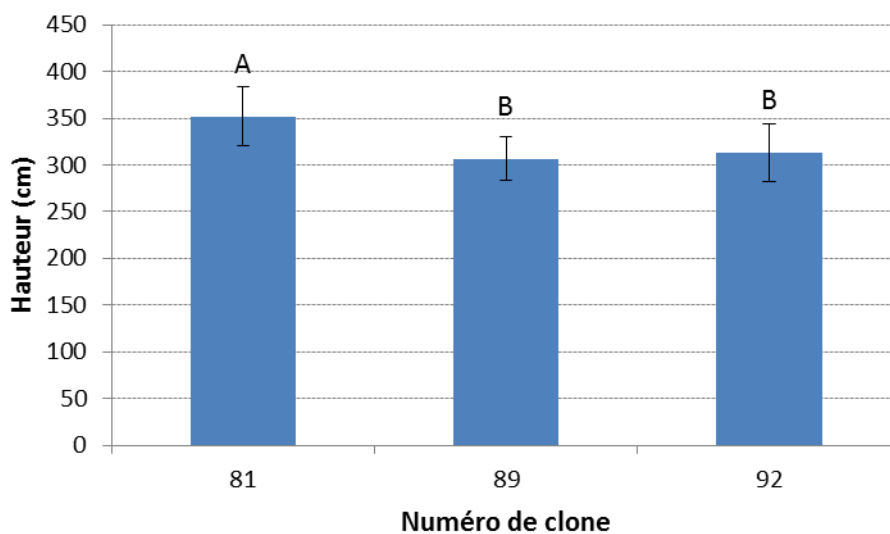


Figure 6. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de clone pour le sable modérément à bien drainé (R3)⁴

³ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

⁴ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

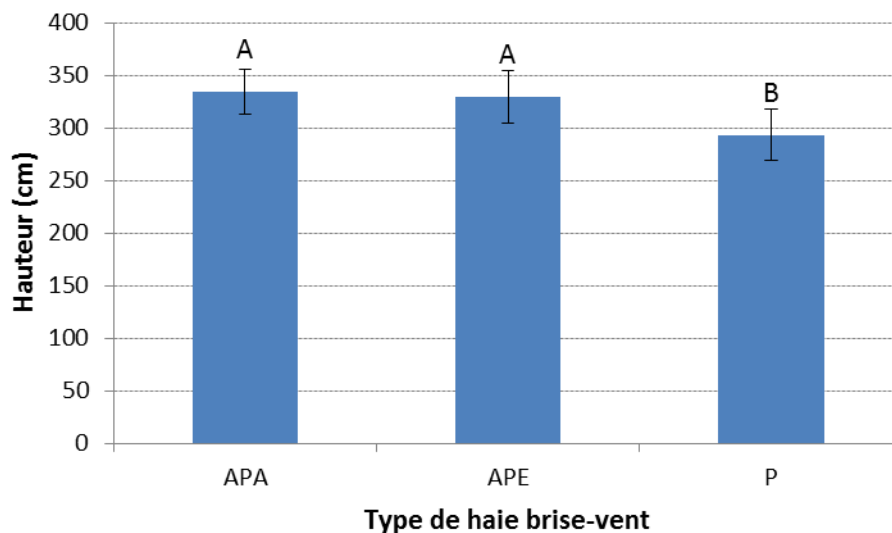


Figure 7. Hauteur des peupliers hybrides en fonction du type de haie brise-vent pour le clone # 81⁵

5.1.2. Hauteur des plants de mélèze hybride et érable à sucre

Une semaine après la mise en terre des plants en 2013, la hauteur moyenne des érables à sucre et des mélèzes hybrides était très uniforme, quels que soient les types de sol et de haie. Pour les érables à sucre, elle variait entre 29 cm et 32 cm en fonction des répétitions alors que pour les mélèzes hybrides, elle variait entre 43 et 44 cm.

La hauteur du mélèze hybride et de l'érable à sucre évaluée 3 ans après la plantation en 2015 est présentée par type de sol pour la haie brise-vent APE dans le tableau 2. À l'inverse du peuplier hybride, l'argile mal drainée (R4) a moins bien profité au mélèze hybride puisque ce dernier présente des hauteurs significativement moins élevées que celles observées sur les autres types de sol (les valeurs les plus élevées apparaissent en gras sur fond gris dans le tableau). Aucune différence significative de hauteur en fonction du type de sol n'a été observée pour l'érable à sucre.

⁵ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5 \%$.

Tableau 2. Hauteur du mélèze hybride et de l'érable à sucre par type de sol pour la haie brise-vent APE

Type de sol	Haie brise-vent APE					
	MEH			ERS		
	Nb de plants	Hauteur (cm) *	IC	Nb de plants	Hauteur (cm) *	IC
Loam argileux bien drainé (R1)	13	215 a	14	15	59 c	14
Loam argileux bien drainé (R2)	15	197 a	18	15	65 c	14
Sable modérément à bien drainé (R3)	15	208 a	19	15	66 c	13
Argile mal drainée (R4)	12	140 b	26	13	54 c	9

* Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

5.1.3. Diamètres des plants de peuplier hybride et mélèze hybride

Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des peupliers hybrides est présenté par type de haies brise-vent et type de sol dans le tableau 3. Les constats sont semblables à ceux de la hauteur. Ils indiquent qu'en 2015, les plants présentant les plus gros DHP sont situés dans le sable de modérément à bien drainé (R3) et que le clone # 81 est supérieur aux autres plants.

Tableau 3. Diamètre à hauteur de poitrine des peupliers hybrides par type de haie brise-vent, sol et clones

Type de sol	Clones	Type de haie brise-vent								
		APA			APE			P		
		Nb de plants	DHP (mm)	IC	Nb de plants	DHP (mm)	IC	Nb de plants	DHP (mm)	IC
Loam argileux bien drainé (R1)	81	6	25	8	6	21	4	6	18	4
	89	6	19	2	6	18	2	6	18	4
	92	17	16	2	17	12	2	16	13	2
Loam argileux bien drainé (R2)	81	6	28	9	6	18	7	6	18	4
	89	5	14	7	6	20	4	6	18	5
	92	15	13	3	18	15	3	19	13	2
Sable modérément à bien drainé (R3)	81	6	35	10	6	44	9	7	37	11
	89	7	30	5	6	30	4	7	26	10
	92	19	24	6	17	31	5	19	24	6
Argile mal drainée (R4)	81	5	34	6	5	28	4	6	29	4
	89	5	26	1	5	24	2	7	24	3
	92	15	26	4	15	20	2	17	20	3

Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) du mélèze hybride est présenté par type de sol et pour la haie APE dans tableau 4. Tout comme les résultats de hauteur, le mélèze hybride situé dans l'argile mal drainée (R4) présente un retard en comparaison aux autres types de sol.

Tableau 4. Diamètre à hauteur de poitrine du mélèze hybride par type de sol pour la haie brise-vent APE

Type de sol	Haie brise-vent APE		
	Nb de plants	DHP (mm)	IC
Loam argileux bien drainé (R1)	13	14	3
Loam argileux bien drainé (R2)	15	11	3
Sable modérément à bien drainé (R3)	15	16	3
Argile mal drainée (R4)	12	8	4

5.2. PORTRAIT DE LA HAUTEUR DE L'ARGOUSIER

À l'automne 2013, au moment de la plantation, il n'existait pas de différence significative de hauteur moyenne des argousiers (sans distinction des cultivars), en fonction du type de sol ou du type de haie. Au sein de chaque cultivar, les hauteurs moyennes étaient de plus très uniformes. Par contre, la hauteur moyenne des argousiers était significativement différente en fonction des cultivars. Ainsi, le cultivar Etna était significativement plus haut (64 cm) que les autres cultivars, suivi du cultivar Inya (51 cm). Gnom était le cultivar le moins haut (35 cm).

La hauteur de l'argousier évaluée par type de haie brise-vent, de sol et de cultivar, après deux années de croissance, en 2015, est présentée dans le tableau 5. Les valeurs les plus élevées apparaissent en gras sur fond gris. Les analyses de variance réalisées ont démontré un effet significatif du type de cultivars, du type de sol et du type de haie brise-vent (seuil de 5 %) sur la hauteur des argousiers. Cet effet significatif est nettement plus fort pour le type de cultivar :

- **L'effet du cultivar** sur la hauteur des plants montre qu'Etna est celui qui a le mieux performé. Il est suivi par un groupe de 3 cultivars semblables selon les analyses statistiques, soit Inya, Altaiskaya et Gnom. Les cultivars Tadjana, Oxyradnaya et Kladija forment le dernier groupe et présentent les hauteurs les plus faibles (figure 8). À noter que l'avantage des clones Etna et Inya était déjà visible au moment de la plantation.
- **L'effet du type de haie brise-vent** sur la hauteur des plants chez le cultivar Etna met en évidence que les argousiers plus hauts sont observés dans la haie brise-vent AAA alors que les haies APE et APA présentent des argousiers généralement plus petits (figure 9).
- **L'effet du type de sol** chez le cultivar Etna dans le type de haie AAA montre que les plants les plus hauts se retrouvent dans l'argile mal drainée (R4). Le loam argileux (R2) est celui qui présente les plants les plus petits (figure 10).

Tableau 5. Hauteur de l'argousier par type de haie brise-vent, sol et cultivars

		Haie brise-vent								
		AAA			APA			APE		
Type de sol	Cultivars	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC	Nb de plants	Hauteur (cm)	IC
Loam argileux bien drainé (R1)	Altaiskaya	12	68	5	10	78	6	4	73	19
	Etna	10	78	5	8	62	18	4	68	14
	Gnom	10	50	10	6	45	15	3	38	5
	Inya	14	67	8	7	40	20	4	75	12
	Klavdija	10	44	5	8	38	7	4	35	13
	Oxradnaya	14	48	3	8	34	11	3	37	9
	Tadjana	15	44	8	9	43	3	5	44	7
Loam argileux bien drainé (R2)	Altaiskaya	16	68	16	8	78	10	5	58	26
	Etna	8	67	15	8	77	11	4	94	14
	Gnom	7	65	7	7	62	12	4	61	16
	Inya	14	67	13	7	62	7	3	74	17
	Klavdija	8	48	9	7	46	5	4	50	4
	Oxradnaya	13	70	10	8	42	4	4	46	10
	Tadjana	18	64	8	9	41	3	6	39	3
Sable modérément à bien drainé (R3)	Altaiskaya	30	69	8	24	63	9	5	67	6
	Etna	20	82	13	15	78	7	4	96	8
	Gnom	21	56	9	13	55	12	4	71	14
	Inya	25	81	10	14	61	14	4	74	8
	Klavdija	18	43	7	11	34	11	4	58	6
	Oxradnaya	24	39	4	17	45	7	4	61	17
	Tadjana	25	44	6	17	34	5	5	53	14
Argile mal drainée (R4)	Altaiskaya	13	74	14	7	75	20	3	73	26
	Etna	10	98	7	8	63	12	4	79	16
	Gnom	10	73	6	4	58	25	3	71	9
	Inya	14	83	6	7	72	18	4	77	8
	Klavdija	8	52	5	7	39	8	3	24	20
	Oxradnaya	14	56	12	7	49	8	1	48	
	Tadjana	18	60	9	3	37	23	2	39	5

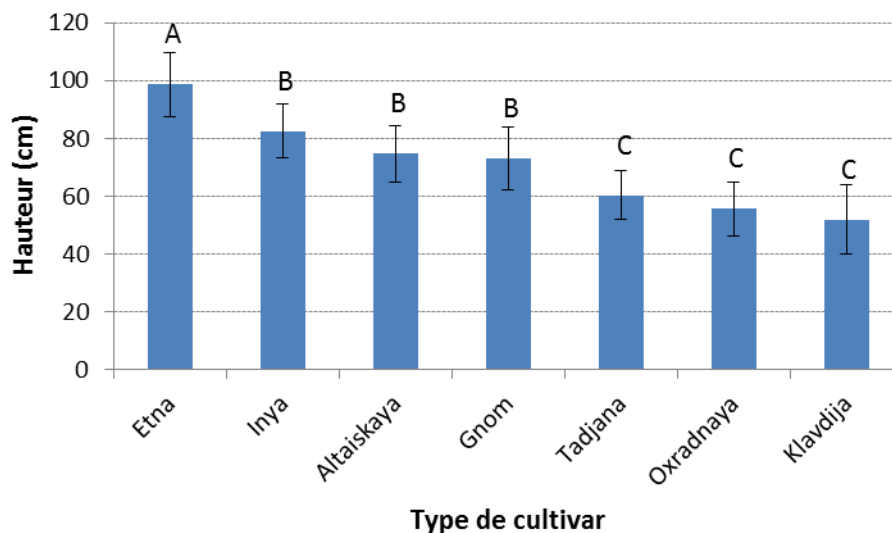


Figure 8. Hauteur des argousiers en fonction du type de cultivar pour des plants situés dans une haie brise-vent AAA et sur une argile mal drainée (R4)⁶

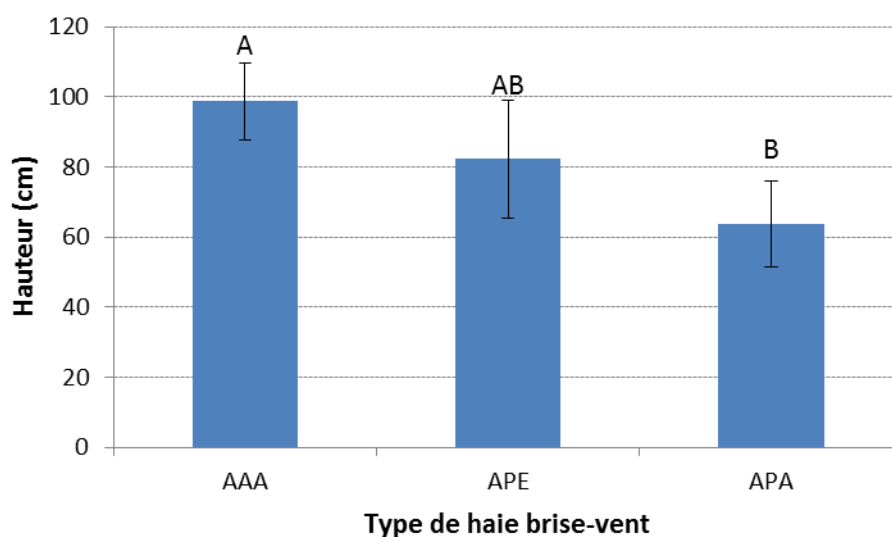


Figure 9. Hauteur des argousiers en fonction du type de haie brise-vent pour le cultivar Etna situé sur une argile mal drainée⁷

⁶ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

⁷ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

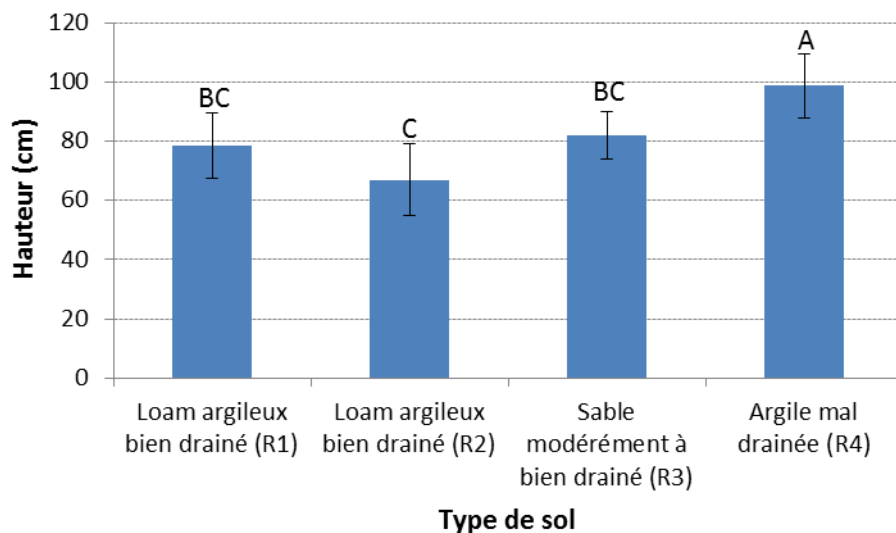


Figure 10. Hauteur des argousiers en fonction du type de sol pour le cultivar Etna situé sur une haie brise-vent AAA⁸

5.3. MORTALITE ET PROBLEMES RENCONTRES SUR LES PLANTS

Le taux de mortalité ainsi que les différents problèmes phytosanitaires et de malformation rencontrés chez les plants de peuplier hybride, mélèze hybride, érable à sucre et argousier sont décrits dans les sections suivantes.

5.3.1. Espèces arborescentes (peuplier hybride, mélèze hybride et érable à sucre)

Le taux de mortalité de l'érable à sucre est nul et est très faible chez le mélèze hybride et le peuplier hybride, quel que soit le type de sol (tableau 6). Le taux de mortalité en fonction des clones de peuplier est lui aussi très faible. Seulement 2 plants sont morts depuis l'implantation du dispositif (tableau 7).

Le taux de têtes sèches est également très faible chez les 3 espèces étudiées (tableaux 8 et 9).

Les problèmes de têtes multiples sont plus fréquents, affectant majoritairement l'érable à sucre (57 %), puis dans une moindre mesure le mélèze (17 %) et le peuplier hybride (9 %) (tableau 8). Des tailles de formation devront donc être envisagées pour corriger ce phénomène et forcer la formation d'un tronc droit.

⁸ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

Le taux de spores jaunes, indicatrices de la présence de la rouille chez le peuplier hybride est de 12 %. Ont été considérés comme atteints, les arbres dont au moins quelques feuilles étaient touchées par la rouille. Aucune tendance ne permet d'associer les différences observées aux clones.

Tableau 6. Taux de mortalité des peupliers hybrides, mélèzes et érables à sucre en fonction du type de sol

Type de sol	PEH			ERS			MEH		
	Mort	Vivant	Taux de mortalité	Mort	Vivant	Taux de mortalité	Mort	Vivant	Taux de mortalité
Loam argileux bien drainé (R1)	0	86	0 %	0	15	0 %	2	13	13 %
Loam argileux bien drainé (R2)	1	89	1 %	0	15	0 %	1	15	6 %
Sable modérément à bien drainé (R3)	0	94	0 %	0	15	0 %	0	15	0 %
Argile mal drainée (R4)	1	80	1 %	0	13	0 %	0	12	0 %
Total	2	349	1 %	0	58	0 %	3	55	5 %

Tableau 7. Taux de mortalité, têtes sèches, têtes multiples et de spores jaunes chez le peuplier hybride par clone

Clones	Mortalité			Têtes sèches			Têtes multiples			Spores jaunes		
	Mort	Vivant	Taux de mortalité	Oui	Non	Taux de têtes sèches	Oui	Non	Taux de têtes multiples	Oui	Non	Taux de spores jaunes
81	0	71	0 %	3	68	4 %	9	62	13 %	8	63	11 %
89	1	72	1 %	1	72	1 %	8	65	11 %	11	62	15 %
92	1	206	0 %	3	204	1 %	15	192	7 %	22	185	11 %
Total	2	349	1 %	7	344	2 %	32	319	9 %	41	310	12 %

Tableau 8. Taux de têtes sèches et de têtes multiples des peupliers hybrides, mélèzes et érables à sucre

Essence	Têtes sèches			Têtes multiples		
	Oui	Non	Taux de têtes sèches	Oui	Non	Taux de têtes multiples
PEH	7	344	2 %	32	319	9 %
ERS	1	57	2 %	33	25	57 %
MEH	0	58	0 %	10	48	17 %

5.3.2. Argousier

Tous types de sol et de haie brise-vent confondus, les **cultivars** Klavdija et Tadjana présentent les probabilités de mourir⁹ les plus élevées avec des taux respectifs de 14 et 12 %. Les cultivars Altaiskaya, Inya et Etna présentent les plus faibles avec des taux inférieurs à 5 % (figure 11).

Pour le moment, **le type de sol** n'a que peu d'effets sur la mortalité de l'argousier, même si une légère tendance est observée avec une probabilité de mortalité plus faible dans le loam argileux bien drainé (R1) (figure 12).

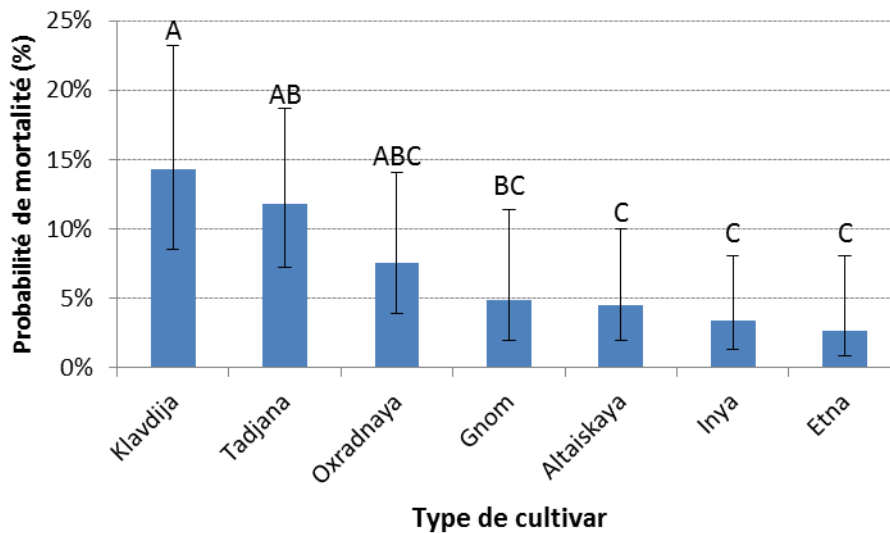


Figure 11. Probabilité de mortalité de l'argousier en fonction des cultivars¹⁰

⁹ Contrairement aux espèces arborescentes où un taux de mortalité a été calculé à partir des résultats d'inventaire, la mortalité des argousiers a été modélisée par des analyses de variance.

¹⁰ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

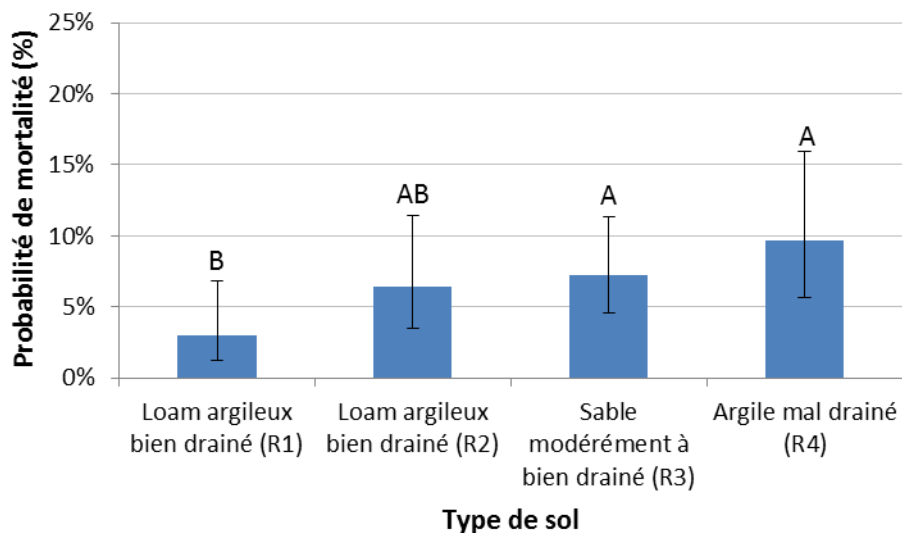


Figure 12. Probabilité de mortalité de l'argousier en fonction du type de sol¹¹

5.4. PRODUCTION FRUITIERE DE L'ARGOUSIER

Quantité de fruits produite

Les cultivars Etna, Inya, Altaiskaya et Tadjana produisent le plus de fruits (plus faible proportion de plants sans fruits et plus forte proportion de plants avec plus de 10 fruits (tableau 9)). Le cultivar Inya est, d'ailleurs, celui qui a le moins de plants sans fruits (seulement 18 % des plants concernés). À l'inverse, les cultivars Oxradnaya et Klavdija sont ceux dont la quantité de fruits est la plus faible. Les résultats confirment également que le cultivar mâle Gnom ne produit pas de fruits (tableau 9).

Taille des fruits

Klavdija et l'Etna sont les cultivars ayant les fruits les plus gros, suivis de près par Inya et Altaiskaya. À l'inverse, les cultivars Oxradnaya et Tadjana sont ceux qui présentent les fruits les plus petits (figure 13). Enfin, les plus gros sont sur les plants d'argousiers situés dans l'argile mal drainée (R4) (figure 14).

Ainsi, à l'exception du cultivar Klavdija, ces résultats sont cohérents avec ceux de la croissance en hauteur, en confirmant que les plants les plus hauts et le type de sol favorisant la meilleure croissance en hauteur regroupent les conditions où la production de fruits est la meilleure. Aucun effet significatif du type de haie sur la production des fruits n'est par contre remarquable.

¹¹ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

Tableau 9. Nombre de fruits produits par cultivar

	Cultivars													
	Etna		Inya		Altaiskaya		Gnom		Tadjana		Oxradnaya		Klavdija	
Nombre de fruits	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)	Nb de plants	(%)
0	28	34 %	18	18 %	32	30 %	75	100 %	44	39 %	60	66 %	59	81 %
1 à 10	22	27 %	21	21 %	28	26 %	-	-	48	42 %	25	27 %	12	16 %
11 à 50	25	30 %	38	39 %	38	36 %	-	-	20	18 %	6	7 %	2	3 %
51 à 75	6	7 %	14	14 %	5	5 %	-	-	1	1 %	-	-	-	-
76 à 100	-	-	5	5 %	-	-	-	-	1	1 %	-	-	-	-
101 à 150	2	2 %	2	2 %	2	2 %	-	-	-	-	-	-	-	-
151 à 200	-	-	-	-	1	1 %	-	-	-	-	-	-	-	-

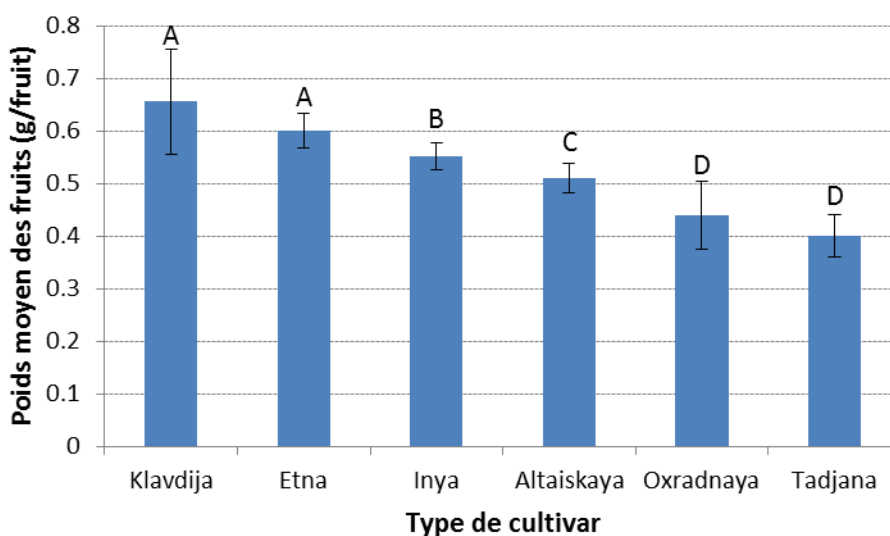


Figure 13. Poids moyen des fruits d'argousiers en fonction du cultivar¹²

¹² Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5 \%$.

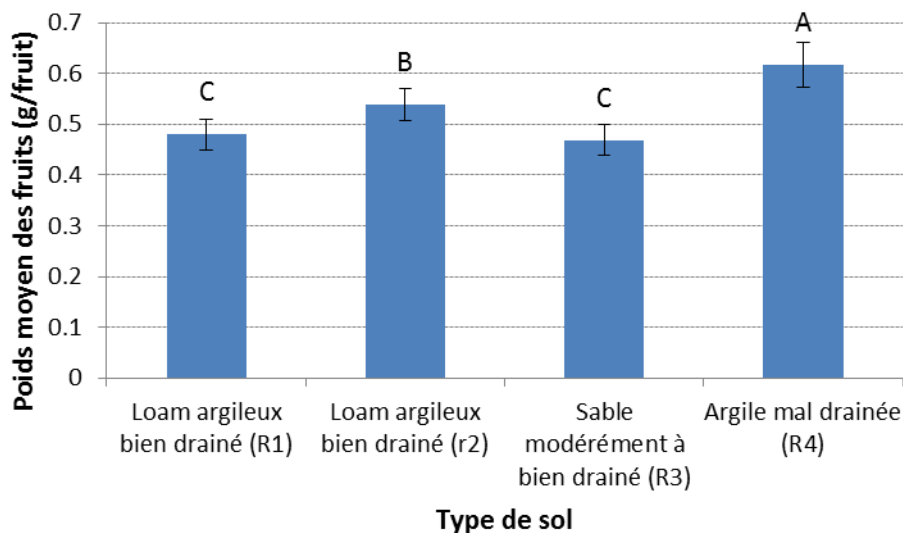


Figure 14. Poids moyen des fruits d'argousiers en fonction du type de sol¹³

Problèmes phytosanitaires des fruits

Les deux principaux problèmes rencontrés sur les fruits sont l'antracnose et la moisissure grise. L'antracnose est marginale. Elle ne touche que 20 plants sur les 329 présents (6 % des plants) et la proportion moyenne des fruits infectés par plant est de 1 %.

La moisissure grise est, par contre, plus fréquente puisque 68 % des plants d'argousier sont touchés, avec un taux moyen d'infestation des fruits de 23 %. Trois cultivars sont plus atteints : Etna, Inya et Altaiskaya (tableau 10).

Tableau 10. Proportion moyenne des fruits infectés par la moisissure grise par plant et par cultivar

Cultivar	Proportion moyenne d'infestation des fruits
Etna	45
Inya	27
Altaiskaya	25
Klavdija	17
Tadjana	10
Oxradnaya	8
Tous	23

¹³ Des lettres distinctes indiquent des différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$.

5.5. EFFET DE LA HAIE BRISE-VENT SUR LES CULTURES CERELIERES

Les tableaux 10 et 11 présentent la densité et la hauteur des céréales par type de haie brise-vent et la distance par rapport à la haie. Ils indiquent qu'aucune tendance notable n'a pu être observée en 2015, car la densité et la hauteur des plants de céréales sont distribuées de façon aléatoire et ne semblent influencées ni par la distance à la haie ni par le type de haie.

Tableau 11. Densité des plants de céréales par type de haies brise-vent et distance par rapport à la haie

Distance de la haie (m)	Type de haies brise-vent									
	AAA		APA		APE		P		Témoin	
	Densité (ti/0.5 m ²)	IC	Densité (ti/0.5 m ²)	IC	Densité (ti/0.5 m ²)	IC	Densité (ti/0.5 m ²)	IC	Densité (ti/0.5 m ²)	IC
2	14	5	19	10	15	8	18	3	18	6
3	15	4	22	6	12	4	19	5	19	6
4	18	5	19	6	22	5	22	6	21	2
5	17	2	22	6	24	8	17	7	23	3
6	16	4	20	5	18	8	20	4	21	6

Tableau 12. Hauteur des céréales par type de haie brise-vent et distance par rapport à la haie

Distance de la haie (m)	Type de haies brise-vent									
	AAA		APA		APE		P		Témoin	
	Hauteur (cm)	IC	Hauteur (cm)	IC	Hauteur (cm)	IC	Hauteur (cm)	IC	Hauteur (cm)	IC
2	94	4	101	8	94	9	112	15	100	28
3	96	10	102	8	92	9	122	9	118	10
4	92	13	106	17	100	7	132	7	104	31
5	92	10	97	18	92	7	122	13	107	29
6	92	11	92	18	81	6	108	16	100	20

5.6. BILAN

Après 3 années de croissance pour les espèces arborescentes et 2 pour l'argousier, on peut poser le bilan suivant pour chaque espèce :

Peuplier hybride :

- **Le type de sol influence de manière significative la croissance des plants :**
 - la hauteur est supérieure dans les sables de modérément à bien drainés (R3) et les argiles mal drainées (R4) que dans les loams argileux bien drainés (R1 et R2).
 - Le diamètre est supérieur dans les sables de modérément à bien drainés (R3).
- **Le type de clone influence de manière significative la hauteur des plants** et le clone 81 est le plus performant.
- **À court terme, tous clones confondus, le type de haie n'influence pas de manière significative la croissance des plants. Dans le cas spécifique du clone 81, les plants sont, par contre, significativement plus hauts dans les haies APA et APE que dans la haie P.**
- **Le taux de mortalité est très faible**, quels que soient les clones, le type de haie et le type de sol.
- **Le taux de têtes sèches est très faible, le taux de têtes multiples un peu plus élevé (9 %)**, mais reste le plus faible chez le peuplier hybride, en comparaison avec les 2 autres espèces arborescentes et **le taux d'infestation de la rouille de 12 %**.

Mélèze hybride :

- **Le type de sol influence de manière significative la croissance des plants :** la croissance en hauteur et en diamètre est supérieure que ce soit dans les sables de modérément à bien drainés (R3) que dans les argiles mal drainées (R4) et les loams argileux bien drainés (R1 et R2).
- **Le taux de mortalité est très faible.**
- **Le taux de têtes sèches est très faible et le taux de têtes multiples modéré (17 %).**

Érable à sucre :

- La croissance en hauteur et en diamètre ne montre **pas de différence selon le type de sol.**
- **Le taux de mortalité est nul.**
- **Le taux de têtes sèches est très faible et le taux de têtes multiples élevé (57 %).**

Argousier :

- **Des différences significatives importantes existent selon les cultivars** et **Etna** est le clone qui a le mieux performé en termes de hauteur, suivi par le groupe constitué de Inya, Altaiskaya et Gnom.
- **Le type de sol influence de manière significative la croissance des plants.** Dans le cas d'Etna, la croissance en hauteur est supérieure dans les argiles mal drainées (R4).
- **Le type de haie influence aussi de manière significative la croissance des plants.** Dans le cas d'Etna, la croissance en hauteur est significativement supérieure dans les haies AAA que dans les haies APA.
- **À court terme, le type de haie n'influence pas de manière significative la production fruitière.**
- **Les probabilités de mourir sont les plus élevées (14 et 12 %) chez les cultivars Klavdija et Tadjana** et les plus faibles (< 5 %) chez Altaiskaya, Inya et Etna.
- **La plus grosse production en nombre de fruits est obtenue chez les cultivars Etna, Inya, Altaiskaya et Tadjan.**
- **Les plus gros fruits sont obtenus sur les cultivars Klavdija et Etna** suivis de près par Inya et Altaiskaya.
- **Les plus gros fruits sont obtenus dans l'argile mal drainée (R4).**
- **La moisissure grise des fruits est présente dans le dispositif et touche plus de la moitié des plants.**

6. DISCUSSION

La section discussion vise à répondre aux hypothèses de recherche qui ont été posées.

6.1. SURVIE ET CROISSANCE DES PLANTS

1. Les argousiers ont une meilleure survie et une meilleure croissance dans les répétitions R1 (loam argileux bien drainé), R2 (loam argileux bien drainé) et R3 (sable de modérément à bien drainé) comparativement à R4 (argile mal drainée) puisque selon la littérature, l'argousier s'adapte à tous types de sol, pourvu que le drainage soit excellent.

Non,

Dans l'ensemble, les tests statistiques indiquent que le type de sol n'a pas d'influence significative sur la **survie des plants**, mais, par contre, s'en approche ($\alpha = 0,08$). Cependant, lorsque les types de sol sont traités individuellement, les résultats démontrent que la station présentant les probabilités de mortalité la plus faible est située sur le loam argileux bien drainé (R1) (figure 12). À l'inverse, la station présentant la probabilité de mortalité la plus élevée est située sur l'argile mal drainée (R4). Ces résultats sont donc cohérents avec l'hypothèse qui a été formulée, même si aucune différence significative à 5 % près n'a pu être mise en évidence.

Concernant l'effet du type de sol sur **la hauteur des plants**, une différence significative est bien mise en évidence, mais l'effet va, par contre, à l'inverse de l'hypothèse, puisque la hauteur la plus élevée est observée dans l'argile mal drainée (R4) (figure 10). Les loams argileux (R1 et R2) et le sable de modérément à bien drainé (R3) présentent, quant à eux, des hauteurs équivalentes. Plusieurs éléments peuvent expliquer cette situation :

- Les dépôts argileux ne regroupent pas nécessairement de mauvaises conditions de croissance pour l'argousier. C'est avant tout l'excès d'humidité qui est problématique (il ne tolère pas des nappes phréatiques élevées et des inondations de plus de deux semaines (Li & Mc Loughlin, 1997)). Or, dans le champ de la répétition 4 (R4), il existe déjà un canal de drainage le traversant qui aide à améliorer les conditions de mauvais drainage retrouvées naturellement dans la série de sols Auteuil.

- Excepté pour le drainage et la présence du phosphore, l'argile mal drainée (R4) offre des caractéristiques supérieures comparativement aux autres types de sol, en termes de pH et d'éléments nutritifs (calcium, magnésium, potassium) (voir le rapport méthodologique : Ruel et al. 2016).
- Si le drainage est vraiment le principal facteur limitant de la croissance, il est possible que l'impact sur la croissance des argousiers ne soit pas encore visible en 2015, car cela peut prendre 3-4 ans de croissance pour que les plants montrent des symptômes (Martin Trépanier, communication personnelle).

Ainsi, des mesurages ultérieurs devront être faits, afin de confirmer ou non cette hypothèse.

2. Le taux de survie et la croissance des argousiers sont différents en fonction des cultivars.

Oui,

L'effet du cultivar est le plus important de tous les effets étudiés. Il permet d'expliquer les variations de hauteur et de survie. Les cultivars les plus performants (hauteur supérieure et mortalité moindre) sont Etna, Inya et Altaiskaya. Ainsi, Etna se distingue de tous les autres en termes de **hauteur**, suivi des cultivars Altaiskaya, Inya et Gnom. Cette position hiérarchiquement supérieure d'Etna suivi de Inya était déjà visible au moment de la plantation.

Etna constitue aussi le cultivar qui présente les **probabilités de mortalité** les plus faibles, peu importe le type de sol ou de haie brise-vent étudiés, étant inférieures à 5 %. À l'inverse, les cultivars Klavdija, Tadjana et Oxradnaya forment un groupe de cultivars qui présente une probabilité de mortalité plus élevée que les autres cultivars (estimée à 14 et 12 % pour Klavdija et Tadjana) (figure 12).

3. Le taux de survie et la croissance des peupliers hybrides sont meilleurs dans les répétitions R1 (loam argileux bien drainé), R2 (loam argileux bien drainé) et R3 (sable de modérément à bien drainé) comparativement à R4 (argile mal drainée) puisque selon la littérature, le peuplier risque de souffrir d'un surplus d'eau dû au mauvais drainage.

Non,

Le taux de survie du peuplier hybride est excellent, peu importe le type de sol. Malgré certains problèmes de têtes sèches lors de l'implantation du dispositif, les peupliers hybrides survivent très bien (seulement deux des plants sont morts après trois ans). L'un est mort sur l'argile mal drainée (R4) comme pressenti dans la littérature alors que l'autre est mort sur le loam argileux bien drainé (R2). Aucune tendance ne peut donc être décelée sur la base de ces résultats (tableau 6). Ainsi, il est peut-être trop tôt, 3 ans après la plantation, pour que le type de sol ait un impact sur la survie des plants. Des mesurages ultérieurs devront donc être effectués afin de confirmer ou non cette hypothèse.

De plus, le type de sol a bien un effet significatif sur **la hauteur** des plants, mais les résultats diffèrent de l'hypothèse proposée. En effet, après 3 ans, les peupliers les plus hauts sont observés sur le sable de modérément à bien drainé (R3) et sur l'argile mal drainée (R4), comparativement aux loams argileux bien drainés (R1 et R2) (figure 6). Plusieurs éléments peuvent expliquer cette situation :

- Tout comme pour l'argousier, les dépôts argileux ne regroupent pas nécessairement de mauvaises conditions de croissance pour le peuplier hybride. C'est avant tout l'excès d'humidité qui est problématique (il ne tolère pas de nappes phréatiques élevées et des inondations de plus de deux semaines (Li & Mc Loughlin, 1997)). Or, dans le champ de la répétition 4 (R4), il existe déjà un canal de drainage le traversant aidant à améliorer les conditions de mauvais drainage retrouvées dans la série de sol Auteuil.
- L'effet néfaste d'un surplus d'eau dans un sol argileux mal drainé en cas de pluies répétées lors du printemps n'est généralement visible chez le peuplier qu'après 3-4 ans de croissance (Martin Trépanier, communication personnelle). Il est donc peut-être trop tôt pour que l'effet de l'excès d'humidité se fasse sentir.
- La présence d'une couche supplémentaire d'argile à 35-50 cm qui rend le sol moins profond pourrait nuire au développement du peuplier, mais à plus long terme (Martin Trépanier, communication personnelle). Pour le moment, le système racinaire n'est peut-être pas assez développé pour souffrir d'un manque de profondeur du sol.

Ainsi, les conclusions issues d'un mesurage, 3 ans après la plantation, ne sont peut-être pas représentatives de l'état de la situation à plus long terme et des mesurages ultérieurs devront être faits afin de confirmer ou non cette hypothèse.

4. La croissance et le taux de survie des peupliers sont différents en fonction des clones.

Oui pour la croissance, non pour le taux de survie,

Les résultats ont mis en évidence un effet significatif important du type de clone sur la hauteur et le diamètre évalués 3 ans après la plantation. Ils indiquent que le clone # 81 est significativement plus haut que les clones # 89 et 92 (figure 5). Une différence de l'ordre de 40 cm est observée après 3 saisons de croissance. Cet effet du clone était, par contre, déjà visible au moment de la plantation.

Concernant le taux de survie, les résultats ont démontré que la survie était excellente en général et que la mortalité ne pouvait être associée à un type de clone (tableau 6). Ainsi, il est peut-être trop tôt, 3 ans après la plantation, pour que la sensibilité de certains clones à des symptômes pouvant mener à la mort du plant n'ait pas eu le temps de s'exprimer. Des mesurages ultérieurs devront être faits afin de confirmer ou non cette hypothèse.

5. Les semis d'érable à sucre étant peu tolérants aux conditions de sécheresse (Nyland, 1999), leur croissance et leur survie sont plus performantes sur R3 (sable modérément bien drainé) et R4 (argile mal drainée) comparativement à R1 et R2 (loam argileux bien drainé).

Non,

Aucun effet significatif du type de sol n'est présent après 3 années de croissance : les érables à sucre mesurent en moyenne 60 cm (tableau 2) et aucun n'est mort dans tout le dispositif (tableau 6) ce qui indique que le taux de survie est de 100 % à ce jour. Comme l'érable à sucre est une espèce à croissance relativement lente, il est possible que des effets du type de sol sur la croissance soient visibles, mais plus tard dans le développement des plants. Des mesurages ultérieurs devront donc être effectués afin de confirmer ou non cette hypothèse.

6. Les mélèzes hybrides ont une meilleure croissance sur les loams argileux bien drainés (R1 et R2) et les sables de modérément à bien drainés (R3) comparativement à l'argile mal drainée (R4), car, selon la littérature, cette espèce ne tolère pas bien les sols principalement composés d'argiles lourdes.

Oui,

Les résultats confirment que la hauteur des mélèzes hybrides est différente en fonction des types de sol et que les loams argileux bien drainés (R1 et R2) et le sable de modérément à bien drainé (R3) présentent des hauteurs significativement plus élevées que celles observées sur l'argile mal drainée (R4) (tableau 2 et tableau 4).

6.2. PROBLEMES RENCONTRES SUR LES PLANTS

7. Parmi toutes les espèces, l'érable à sucre est celui qui présente le plus haut risque de malformations (têtes sèches et têtes multiples), en particulier, parce que les jeunes semis sont très sensibles au dessèchement des bourgeons par le froid, les gelées et le vent (Nyland, 1999).

Oui,

Les résultats indiquent que l'érable à sucre a une tendance élevée à faire plusieurs têtes puisque 57 % des plants observés présentaient des têtes multiples. De plus, les autres espèces sont beaucoup moins sujettes à ce problème de malformation (17 % chez le mélèze hybride et 9 % chez le peuplier hybride). Par contre, seulement 2 % des érables à sucre présentent des têtes sèches. Ce phénomène est aussi très rare chez le peuplier hybride et inexistant chez le mélèze (

tableau 8). En présence de têtes multiples, une taille de formation devra alors être envisagée rapidement si l'on veut maximiser le bois de sciage pour cette essence.

8. Certains clones de peupliers hybrides sont plus sensibles au chancre septorien (*Septoria musiva*), à la rouille (*Melampsora medusae*) et aux problèmes foliaires tels que la brunissure des feuilles (*Marssonina brunnea*) et la tache septorienne (*Septoria musiva*).

Non,

Les résultats indiquent tout d'abord que le **chancre septorien**, les **problèmes foliaires** (brunissure des feuilles) et la **tache septorienne** sont pratiquement inexistantes sur les plants, quels que soient les clones. Aucune distinction en fonction des clones n'est donc présente.

Les autres types de maladies sont encore anecdotiques en 2015 et pourront faire l'objet de suivis ultérieurs.

Dans le cas de la **rouille**, la seule maladie qui est recensée chez plusieurs plants, les données ne permettent pas de conclure à des différences significatives entre les clones de peuplier hybride. Des taux d'infection¹⁴ respectivement de 11 %, 15 % et 11 % sont observés chez les clones # 81, 89 et 92 ce qui reste faible (tableau 7). La rouille est la deuxième maladie en importance chez les peupliers hybrides au Québec (Réseau Ligniculture Québec, 2011). Le champignon provoque des nécroses sur les feuilles qui ont l'apparence de taches jaune orangé avec une texture poudreuse. Les symptômes peuvent commencer à apparaître au début de l'été et le feuillage peut devenir envahi à la mi-juillet (Réseau Ligniculture Québec, 2011). Ce champignon a pour effet de ralentir la croissance et peut ouvrir la porte à d'autres pathogènes (Réseau Ligniculture Québec, 2011). Pour compléter son cycle de vie, ce champignon a besoin d'un hôte alterne qui est le mélèze hybride (Réseau Ligniculture Québec, 2011). Ce phénomène est donc à surveiller dans les prochaines années, puisque des mélèzes hybrides sont plantés à proximité. Les suivis à plus long terme permettront de vérifier si la sensibilité à la rouille diffère selon les cultivars étudiés.

¹⁴ Est considéré comme infecté, un plant dont au moins quelques feuilles ont la présence de spores jaunes.

6.3. INTERACTIONS ENTRE LES ESPECES

9. Plusieurs scénarios de récolte sont à prévoir et varient en fonction des combinaisons d'espèces arborescentes qui constituent les différents types de haies brise-vent.

Il est encore trop tôt pour répondre à cette hypothèse, mais des propositions de scénario variant selon la composition en essences des haies sont présentées dans la section Recommandations.

10. L'argousier étant une espèce de lumière peu compétitrice (Li & McLoughlin, 1997), la croissance de cette espèce est plus performante dans le traitement AAA comparativement aux traitements APE et APA dans lesquels le peuplier hybride engendre une certaine compétition pour la lumière, en raison de l'ombre qu'il génère par sa hauteur.

Oui,

Bien que les données recueillies ne couvrent que 3 saisons de croissance, les résultats indiquent déjà que de tous cultivars et types de sol confondus, les argousiers sont significativement plus haut dans la haie brise-vent AAA comparativement à la haie-brise APA. Dans le cas d'Etna, le cultivar le plus performant, on observe une différence de près de 40 cm pour cette haie brise-vent. À ce jour, les résultats ne permettent pas, par contre, de conclure à une différence significative entre les argousiers situés dans la haie brise-vent AAA et APE, mais ils confirment une tendance à observer des plants plus hauts dans la haie brise-vent AAA. En moyenne, les argousiers sont plus hauts de 20 cm dans ce type de haie brise-vent. Ces résultats sont cohérents avec la présence d'une compétition exercée sur les argousiers par les peupliers hybrides à proximité. Les suivis à plus long terme permettront de confirmer ou non cette tendance.

11. La croissance des peupliers hybrides est plus rapide lorsqu'ils sont plantés à proximité de l'argousier (traitements APA et APE comparativement au traitement P) puisque l'argousier permet de fixer l'azote dans le sol (Li & Schroeder, 1996).

Oui,

La réponse est en réalité mitigée, car aucun effet significatif du type de haie brise-vent sur la hauteur des peupliers hybrides n'a été mis en évidence, lors de l'analyse globale, tous clones confondus. Par contre, déjà après 3 saisons de croissance, une tendance à observer des peupliers hybrides plus hauts dans les haies brise-vent APA et APE est confirmée. C'est le cas notamment du clone # 81 qui présente des hauteurs significativement plus élevées dans les haies brise-vent APA et APE que dans la haie brise-vent P, sans argousier (figure 7). Ces résultats ne sont, par contre, pas nécessairement applicables à tous les clones individuellement (tableau 1). Les suivis à plus long terme permettront de confirmer ou non cette tendance.

12. La présence d'une rangée d'argousiers à proximité des espèces arborescentes tend à favoriser la formation de bois de qualité en exerçant une pression latérale et en diminuant la proportion de branches latérales (qui forment des nœuds dans le bois).

Il est encore trop tôt pour répondre à cette hypothèse, car les argousiers n'ont pas encore atteint une dimension suffisante pour exercer une pression latérale sur les tiges d'essences arborescentes voisines.

6.4. ENTRETIEN

13. Certains clones de peupliers hybrides ont davantage besoin d'une taille de formation.

Oui,

Les résultats indiquent que des plants de tous les clones de peupliers hybrides nécessiteront une taille de formation à cause de la présence de têtes multiples, si l'objectif est de maximiser la production de bois d'œuvre à moyen terme. Ils indiquent également que le clone # 92 a tendance à présenter moins de problèmes de têtes multiples (7 %) que les deux autres clones (respectivement 11 % pour le # 89 et 13 % pour le # 81) (tableau 8).

Par ailleurs, les besoins en taille de formation sont encore plus importants pour l'érable à sucre qui présente le taux de têtes multiples le plus élevé soit de 57 % (tableau 9).

6.5. ÉVALUATION DES PREMIERES PRODUCTIONS DE FRUITS D'ARGOUSIER

14. La quantité de fruits produits diffère en fonction des cultivars d'argousiers, des espèces compagnes et des types de sol.

Oui, pour les types argousiers et les types de sol

Non, pour les espèces compagnes

Les résultats ont permis de conclure que les cultivars et les types de sol entraînent des différences significatives sur la production de fruits, mais pas les espèces compagnes (le type de haie). Les quatre **cultivars** qui produisent le plus de fruits sont Etna, Inya, Altaiskaya et Tadjana. De plus, les cultivars Klavdija et Etna ont les plus gros, suivis de près par Inya et Altaiskaya (figure 10). Bien que le cultivar Klavdija ne présente que très peu de fruits, ces derniers sont parmi les plus gros. Oxradnaya et Tadjana sont les cultivars qui présentent les plus petits. À l'exception du cultivar Klavdija, ces résultats vont de pair avec ceux de la hauteur, en confirmant que les plants les plus hauts sont ceux qui produisent le plus grand nombre de fruits et les plus gros (figure 7 et tableau 6).

Les **types de sol** influencent également la grosseur des fruits et l'argile mal drainée (R4) est le type de sol qui présente les plus gros fruits d'argousiers. À noter que c'est également sur ce type de sol que la croissance en hauteur des argousiers est la meilleure jusqu'à maintenant.

Aucun effet significatif du **type de haie** influençant la nature **des espèces compagnes** n'a été démontré sur la production en fruits de l'argousier, même si un effet significatif sur la hauteur des plants d'argousiers est présent. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette situation :

- Comme les espèces compagnes (peuplier hybride, mélèze hybride, érable à sucre) sont encore relativement de petites tailles et leur feuillage encore plutôt frêle, il est possible que la compétition exercée par leur présence (création d'un ombrage) soit limitée et n'ait que peu d'incidence sur la production de fruits.
- Les argousiers commencent à peine à produire des fruits et les quantités sont limitées. Il est possible que la production de fruits soit tellement faible que l'impact des essences compagnes ne soit pas perceptible.

Les suivis à plus long terme permettront de confirmer ou non cette tendance.

À noter que la **moisissure grise** des fruits est présente de façon relativement importante dans le dispositif (68 % des plants sont infectés) et que les différents cultivars ne sont pas touchés par la même intensité (Etna, Inya et Altaiskaya par ordre décroissant d'importance sont les plus touchés).

6.6. ÉVALUATION DE L'EFFET DES HAIES SUR LES CULTURES

15. L'effet du vent sur les cultures est différent selon le type de haie brise-vent.

Non,

La distribution des données de hauteur et de densité des céréales est répartie de façon complètement aléatoire pour le moment, quels que soient le type de haie et la distance à la haie (tableaux 10 et 11). À ce stade-ci, les plants sont vraisemblablement trop petits pour que la haie génère un effet sur les céréales et il n'est donc pas possible de conclure à des effets de la présence de la haie sur les céréales. Les suivis à plus long terme permettront de confirmer ou non cette hypothèse.

7. RECOMMANDATIONS

Plusieurs recommandations à considérer dans un avenir plus ou moins rapproché sont formulées. Elles concernent les travaux d'entretien à prévoir dans le futur, l'importance de faire des suivis à court et moyen termes ainsi que des propositions de scénario de récolte à moyen et long termes.

7.1. TRAVAUX D'ENTRETIEN A PREVOIR DANS LE FUTUR

7.1.1. Désherbage

Cette étape est essentielle si l'on veut s'assurer que les espèces survivent au cours des années suivant la plantation, lorsque les tiges sont encore de petite taille. L'utilisation d'un paillis de plastique lors de la plantation diminue significativement la compétition des mauvaises herbes à court terme et est obligatoire en milieu agricole, mais un fauchage autour des plants reste quand même à prévoir. Selon la vitesse de croissance des espèces choisies pour la haie brise-vent, il faut envisager de désherber au moins pendant les trois premières années suivant la plantation (Vézina, 2001). De plus, le désherbage doit être répété plusieurs fois pendant la saison de croissance, afin de prévenir que les herbacées créent de la compétition aux plants pour la lumière. Un autre à l'automne est aussi fortement recommandé afin d'éviter que les herbes ne rabattent les plants au sol avec la neige pendant l'hiver et de limiter les dommages causés par les rongeurs.

Il peut être fait à l'aide d'une débroussailleuse, d'une tondeuse à gazon, d'une faucheuse installée sur un tracteur de ferme ou bien manuellement (Vézina, 2001). Si l'agriculteur choisit d'utiliser des herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes, il faut s'assurer que ces derniers n'aient pas d'effets négatifs sur les espèces reboisées dans la haie brise-vent. Dans le cas de la ferme Anlousie qui produit des cultures biologiques, cette avenue ne sera pas envisagée.

Il serait donc approprié de faire un suivi de l'état d'envahissement de la compétition à proximité des plants pendant encore quelques années jusqu'à ce que les plants aient atteint 1 m de hauteur et de désherber, en cas de besoin, au moins une fois pendant la saison de croissance et une fois à l'automne.

7.1.2. Taille et élagage des espèces arborescentes

Un producteur agricole qui compte faire la récolte de billots dans sa haie brise-vent a tout intérêt à faire des travaux d'élagage et de taille de formation, puisque la valeur du bois qu'il pourra alors atteindre en sera grandement augmentée, surtout si les billots sont de qualité sciage ou déroulage.

La taille de formation permet de remodeler l'aspect de l'arbre et, plus particulièrement, son architecture, afin de favoriser la production d'arbres droits et solides et de corriger les principaux problèmes de forme tels que les défauts de cime (fourches), de branchaison et du tronc. Habituellement, la taille de formation se fait dès les premières années de croissance des arbres et vise à supprimer les branches dans la cime des arbres qui gênent la formation d'un axe principal (Balleux et al.) (figure 15).

Le principe de base lors d'une taille de formation est de produire un fût sans défaut d'au moins 4 à 5 mètres de hauteur au niveau de la bille de pied. Comme les arbres sont plantés en champs, dans un milieu ouvert, produisant ainsi plus de branches qui ne s'élaguent pas de façon naturelle, il est inutile de déployer des efforts pour produire une bille de qualité au-delà de 4 à 5 mètres. Les opérations de taille sont pratiquement non rentables au-delà de la première bille (Archambeault et al. 2007).

On fait tout d'abord l'analyse de l'arbre dans son ensemble pour déterminer s'il a besoin ou non d'une taille, en observant si la flèche terminale est bien définie et unique (Lupien, 2004). Si une taille de formation est nécessaire, on procède toujours en commençant par le haut en appliquant les priorités de taille suivantes :

1. Corriger les cimes à deux têtes.
2. Retirer les branches mortes, malades ou brisées.
3. Retirer les branches à angle aigu.
4. Retirer les branches de fort diamètre (plus du 1/2 du diamètre du tronc qui la porte).
5. Raccourcir les branches fortes ou concurrentes à la flèche terminale pour limiter sa croissance en diamètre.
6. Garder les branches basses fines et sans défaut dans les premières années de vie d'un arbre, car celles-ci contribuent à conserver deux tiers de cime vivante.

Il est essentiel de conserver minimalement le tiers du feuillage (Lupien, 2004). Il est préférable de pratiquer la taille de formation pas trop tard dans l'été, après la période de croissance, mais avant

l'aoutement des bourgeons, lorsque l'activité physiologique de l'arbre est encore importante, car cela assure une meilleure cicatrisation des tissus (Archambeault et al. 2007).

Pour plus d'informations sur les modalités de coupe (positionnement de la coupe par rapport aux bourgeons, angle de coupe, etc.), il suffit de se référer à la section Entretien des plants dans le rapport méthodologique (Ruel et al. 2016).

Pour éviter une éventuelle propagation d'agents pathogènes, il est préférable de désinfecter les outils de coupe après la taille de chaque arbre, à l'aide d'un linge propre imbibé d'alcool isopropylique.

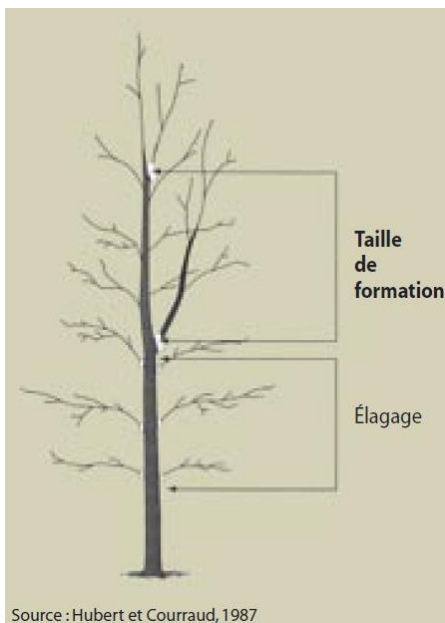


Figure 15. Différence entre taille de formation et élagage.

Source : Archambeault et al. (2007)

Une taille de formation a déjà été réalisée un an après la plantation (2014), sur les plants d'espèces arborescentes qui en avaient besoin. Le recensement des têtes multiples à la fin de l'été 2015, que ce soit chez certains peupliers hybrides (9 % des plants), le mélèze (17 % des plants) ou surtout chez l'érable à sucre (57 % des plants) justifie de faire une taille de formation à court terme chez les plants concernés. Cette dernière devrait être réalisée en priorité et pas trop tard dans l'été. Un suivi dans les prochaines années permettra de vérifier si le développement futur des plants génère de nouveaux besoins de taille de formation.

L'élagage quant à lui, consiste à enlever les branches qui se trouvent au bas de la tige pour éviter la formation de nœuds ainsi que d'autres défauts dans la bille de pied (Archambeault et al. 2007). Le peuplier hybride et le mélèze hybride sont deux espèces qui produisent beaucoup de branches basses. Étant à proximité de plants d'argousiers, des élagages fréquents sont fortement recommandés, afin de ne pas briser les têtes des plants d'argousiers. Dans le cas de l'érable à sucre, l'élagage aura principalement pour fonction d'augmenter la qualité du fût.

En règle générale et pour toutes les essences, afin de conserver la vigueur de la tige, l'élagage ne devrait jamais être pratiqué sur plus du 1/3 de la hauteur totale de la tige (Lupien, 2008). Pour le peuplier en particulier, on commence généralement l'élagage après les tailles de formation, quand le plant est âgé entre 3 et 5 ans ou qu'il a un diamètre qui se situe entre 8 et 10 centimètres (Maurin 2013). Selon la vitesse de croissance de la plantation, ces chiffres peuvent, par contre, varier d'un endroit à l'autre. Il est recommandé de commencer l'élagage une fois que la hauteur totale de l'arbre correspond à la longueur du fût souhaité (ex. : à la figure 16, cela correspond à la 6^e année). Ensuite, on devrait préconiser un élagage progressif en sélectionnant judicieusement les branches à enlever (Archambeault et al. 2007). Pour éviter qu'il ne se forme trop de gourmands, il est préférable de pratiquer l'élagage en été. De plus, l'activité physiologique de l'arbre est plus importante à cette période ce qui assure une meilleure cicatrisation des tissus (Maurin, 2013). Par contre, il faut aussi savoir que pour être efficace et donner les résultats recherchés, l'élagage doit être pratiqué suffisamment longtemps avant la récolte finale. Au moment de la récolte, le diamètre du tronc devrait idéalement être trois fois plus gros que lorsqu'il a été élagué et ne pas avoir de branches sur les sections de 10 cm et plus (Archambeault et al. 2007).

À noter que l'élagage des branches du bas est aussi une action bénéfique pour l'agriculteur, car le retrait des branches qui empiètent sur la zone cultivée limitrophe permet une circulation plus facile de la machinerie agricole.

Il est donc recommandé de faire un suivi annuel de la présence de branches dans la portion basse du tronc, afin d'identifier les besoins d'élagage. Ce suivi devra être réalisé aussi longtemps que les peupliers et les mélèzes hybrides produiront des branches basses qui nuisent aux plants d'argousiers mitoyens. L'élagage devra être fait prioritairement en été pour éviter la formation de gourmands et favoriser la cicatrisation.

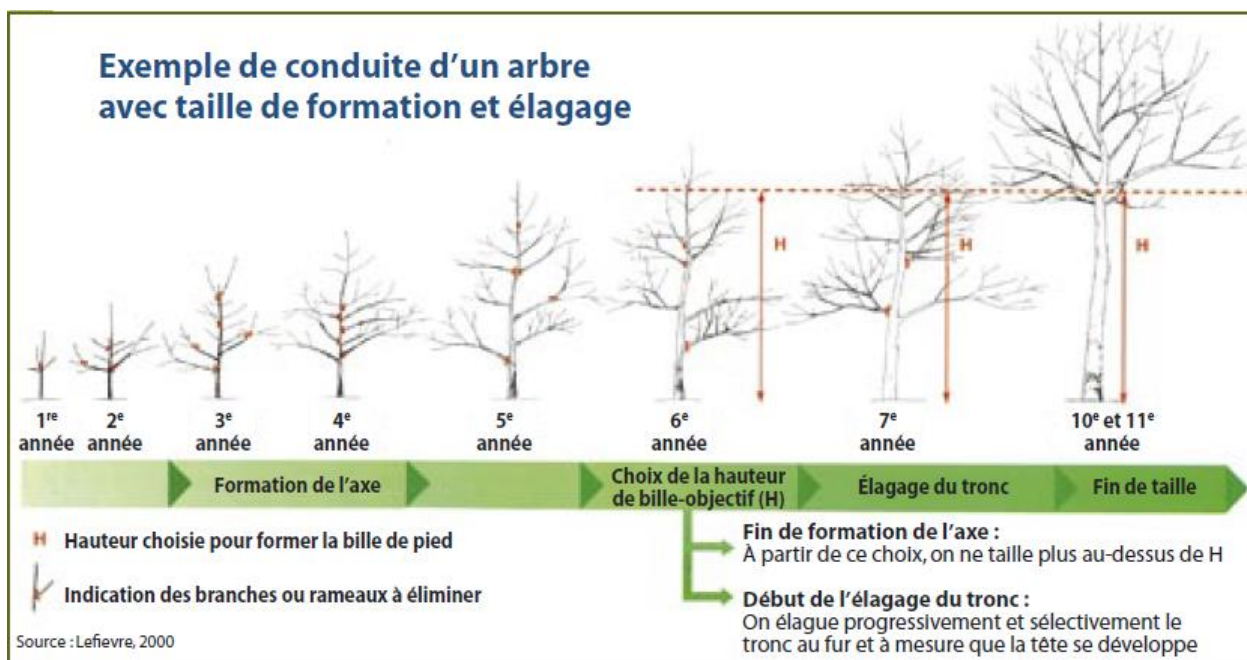


Figure 16. Exemple de conduite d'un arbre avec taille de formation et élagage.

Source : Archambeault et al. (2007)

7.1.3. Récolte des fruits et taille des argousiers

Selon l'âge de la bouture au moment de la plantation, l'argousier met au moins trois ans avant de produire ses premiers fruits et donne les meilleurs rendements en fruits après sept à huit ans de croissance (Orwa *et al.*, 2009 ; Li & Oliver, 2001). Les rendements obtenus lors d'une production soutenue sont généralement entre 5 et 7 kg/an de baies ce qui donne 4 à 5 tonnes de fruits à l'hectare (Li & Schroeder, 1996). Le fait que les semis d'argousier subissent l'ombrage généré par les arbres de la haie brise-vent peut retarder la période de **récolte des fruits**, car ils prennent plus de temps à mûrir dans ces conditions (Li & McLoughlin, 1997). Il est possible aussi que la collecte de fruits du côté nord d'une haie soit plus tardive que celle du côté sud.

La récolte des fruits dans une haie brise-vent doit être manuelle et constitue une partie très importante des coûts de production. En effet, dans une haie brise-vent, il n'est pas possible de récolter mécaniquement les fruits d'argousier dû à la présence d'arbres tout près des plants d'argousiers (Mann et al., 2001). Par conséquent, la méthode de brassage des branches sur le plant avec une machine spécialement conçue pour cette tâche ne peut être utilisée dans cette situation. Les fruits doivent être collectés manuellement suivant la méthode de coupage des branches fruitières (Mann et al., 2001). À l'aide de cette méthode, les semis d'argousier produisent des fruits seulement aux deux ans ce qui diminue directement le cycle de récolte aux

deux ans (Trépanier, 2009). Les branches peuvent, par la suite, être congelées pour faciliter la séparation des fruits sur la tige.

Les conditions climatiques très humides qui ont prévalu à la fin du printemps et au début de l'été 2015 ont été très favorables au développement des conidies du champignon responsable de la moisissure grise. Étant donné que la présence de la **moisissure grise des fruits** a été recensée sur une partie importante des plants d'argousiers (68 %), des mesures devraient être prises pour limiter sa propagation. Ainsi, il est fortement recommandé d'éliminer tous les débris végétaux au sol dans lesquels le champignon passe une partie de son cycle de vie. Le brûlage des fruits infestés et l'augmentation de la circulation de l'air aux abords de la haie diminuent considérablement le développement de la moisissure grise (Boivin *et al.*, 2008).

On recommande généralement de réaliser une **taille de formation** sur l'argousier pendant les premières années de croissance. En effet, ce dernier croît de façon plutôt anarchique avec la création d'un grand nombre de branches en compétition entre elles pour la lumière. Le plant est aussi souvent sans axe central. La taille de formation permet donc de diriger le développement des branches et de stimuler la croissance de l'arbuste et permet également de faciliter la récolte des fruits en limitant la hauteur de l'arbuste (ce dernier ne devrait pas mesurer plus de 1,83 mètre ou 6 pieds) et en éliminant les aiguillons sur les branches matures. On constate aussi qu'une taille modérée augmente le rendement de la plante et sa durée de sa vie productive (Robitaille, 1999).

Le principe général de la taille de formation chez l'argousier, alors que le plant ne produit pas encore de fruits, est de sélectionner un certain nombre de branches charpentières bien distribuées autour d'un axe central dominant. Cette façon de faire s'appelle **la taille à axe central**. C'est surtout cette méthode qui semble être appliquée au Québec comme pour les pommiers.

Plusieurs facteurs doivent être considérés avant d'intervenir. Tout d'abord, l'architecture naturelle de l'argousier varie selon les cultivars (AAC 2008). Par exemple, certains cultivars produisent des branches à angle aigu par rapport au tronc et ces dernières, plus faibles, sont plus à risque de casser lorsque le plant plus âgé est chargé de fruits. Certains sont plus vigoureux et tolèrent mieux une taille de formation sévère que d'autres, dont la vigueur est moindre (AAC 2008). L'épaisseur de la neige, des épisodes de pluie verglaçante, des périodes de gel et de dégel, la fonte des neiges au printemps ainsi que la présence d'une très grande quantité de fruits sont tous des éléments qui peuvent contribuer à accroître le poids sur les branches et augmenter le risque de bris de ces dernières. Il importe donc de tenir compte de l'angle et de la hauteur des premières charpentières dans le choix des branches à conserver et d'éliminer toutes les branches autour de l'axe central, qui forme un angle aigu par rapport au tronc. On pourra se permettre de

garder des branches charpentières plus basses, dans les zones réputées pour leurs faibles chutes de neige comparativement à celles qui reçoivent plus de précipitations au sommet du plant.

Comme les plants ont commencé à produire des fruits et qu'aucune taille n'a encore été réalisée pour le moment, il est fortement recommandé de planifier une taille de formation à court terme, afin de favoriser le développement d'une architecture optimale des plants.

Afin de diminuer la propagation de la moisissure grise sur les fruits, il est fortement recommandé d'éliminer tous les débris végétaux au sol dans lesquels le champignon passe une partie de son cycle de vie. Le brûlage des fruits infestés est une bonne option.

7.2. IMPORTANCE DE FAIRE DES SUIVIS DU DISPOSITIF DANS LE FUTUR

Le dispositif expérimental qui a été implanté dans le cadre de ce projet est encore très jeune puisque seulement trois années de croissance ont passé depuis la plantation. Les résultats obtenus au cours de cette période reflètent un portrait de la situation à très court terme. Comme les plants sont encore jeunes et fragiles, **un suivi annuel jusqu'à l'âge de 10 ans serait pertinent**, afin de :

- Suivre l'état phytosanitaire des plants et remplacer les arbres ou arbustes, au besoin :
 - Un suivi ciblé des symptômes de la **rouille** chez les plants de peuplier hybride devra être réalisé, du fait de la présence, du mélèze hybride, hôte alterne du champignon à proximité.
 - Un suivi de la présence de la **moisissure grise** sur les fruits devra également être réalisé afin de s'assurer que sa propagation est limitée.
- Vérifier les besoins en taille de formation et élagage chez les différentes espèces.

De plus, les résultats obtenus après 3 années de croissance laissent beaucoup de questions sans réponse et seul le temps permettra de répondre à certaines hypothèses de recherche, une fois que les plants auront grandi et que les effets du sol et du type de haie se seront fait sentir. **Des suivis plus espacés aux 3 à 5 ans, par exemple, jusqu'à l'âge d'au moins 15 ans permettront ainsi de documenter plus précisément certaines hypothèses de ce dispositif expérimental :**

- La croissance, la survie et la production de fruits des différents cultivars d'argousier diffèrent-elles selon type de sol et de haie ?
- La croissance et la survie des plants des différents clones de peuplier, de mélèze hybride et d'érable à sucre diffèrent-elles selon le type de sol et de haie ?
- La présence d'espèces arborescentes à proximité des argousiers a-t-elle un impact sur la croissance et la production en fruits des argousiers ?
- La présence des argousiers à proximité des peupliers hybrides a-t-elle un impact sur la croissance des peupliers ?
- La présence des argousiers à proximité des peupliers hybrides et des érables à sucre a-t-elle un effet sur la proportion de branches latérales présentes, influençant la qualité du bois produit ?

Il est bien évident que ces suivis à moyen terme pourraient être prolongés sur un horizon de temps plus long et permettraient alors de documenter à plus long terme les effets d'une haie brise-vent productive.

Les mêmes protocoles de mesures que celles réalisées en 2015 pourraient être utilisés.

Il est donc recommandé de réaliser 2 types de suivis : un premier, annuel jusqu'à ce que le dispositif ait 10 ans, afin de s'assurer de sa pérennité (suivi phytosanitaire et tailles nécessaires) et un deuxième, aux 3 à 5 ans, pour une durée minimale de 15 ans, afin de continuer à documenter les hypothèses de recherche.

7.3. SCENARIO D'EVOLUTION A LONG TERME

Tout dépendant du type de combinaison d'essences à l'intérieur de la haie, on peut envisager différents scénarios.

Dans le traitement à trois rangées d'argousiers (AAA), il est facilement envisageable de conserver tous les plants d'argousiers aussi longtemps qu'ils seront vivants, pour en maximiser la production fruitière. Bien qu'il puisse y avoir des variations de hauteur entre les cultivars, il serait étonnant que les plants exercent une compétition importante entre eux pour la lumière. Un effet brise-vent sera donc maintenu à long terme, tant que les argousiers seront vivants.

Dans le traitement à une seule rangée de peupliers hybrides (P), il est proposé de laisser sur pied tous les peupliers jusqu'à la récolte, qui pourrait avoir lieu entre 15 et 25 ans. Les coûts d'une éclaircie (récolte d'un arbre sur 2) seraient, en effet, très élevés, en particulier à cause du ramassage des branches au sol nécessaire en milieu agricole. L'espacement de 2 m entre les tiges est relativement faible, mais les peupliers ne devraient pas souffrir d'une compétition pour la lumière, puisqu'ils seront exposés à la lumière de chaque côté.

Dans le type de brise-vent à deux rangées d'argousiers avec une rangée de peupliers au centre (APA), des travaux d'élagage des peupliers devront être réalisés fréquemment afin de s'assurer de toujours libérer les argousiers. En effet, la présence importante de branches latérales au bas des tiges briserait les têtes des argousiers. La récolte des peupliers pourrait avoir lieu vers 15 ans, afin de limiter les dommages potentiels causés par les peupliers sur les plants d'argousiers. Les argousiers peuvent être maintenus en place aussi longtemps qu'ils produisent des fruits. Au moment de la récolte finale des peupliers, il ne restera dans la haie brise-vent que les argousiers, comme dans le traitement AAA. L'effet brise-vent sera alors conservé, sur une moins grande distance, par contre, puisque la hauteur de la haie en sera réduite. Mais la production fruitière pourrait en être meilleure, car l'ombrage créé par les peupliers et nuisant à la production des fruits aurait disparu.

Dans l'agencement d'argousiers, de peupliers hybrides et d'une rangée d'érables à sucre en alternance avec des mélèzes hybrides (APE), il est proposé de récolter les peupliers hybrides à environ 15 ans afin de limiter les risques de bris des têtes des argousiers. Les peupliers hybrides et les mélèzes hybrides étant producteurs de nombreuses branches basses (le mélèze encore plus que le peuplier), il est fortement recommandé de réaliser des élagages fréquents pour protéger les têtes des argousiers.

Si la priorité est mise sur la production des argousiers et la croissance des érables à sucre, les mélèzes hybrides pourraient être récoltés en même temps que les peupliers, afin de non seulement rentabiliser les opérations, mais aussi libérer les érables d'une certaine compétition et limiter les bris potentiels des têtes d'argousiers. L'effet brise-vent sera alors conservé, mais temporairement sur une moins grande distance, puisque la hauteur de la haie sera réduite suite à la récolte des peupliers et des mélèzes. Le regain de croissance des érables à sucre, libérés de la compétition des autres espèces arborescentes, permettra de retrouver une protection plus étendue contre le vent à court ou moyen terme. La production fruitière pourrait quant à elle être meilleure, puisque l'ombrage créé par les peupliers et les mélèzes nuisant à la production des fruits aurait disparu.

CONCLUSION

Un dispositif expérimental de haies brise-vent productives a été implanté en 2013, testant plusieurs combinaisons d'essences arborescentes (3 clones de peuplier hybride, mélèze hybride et érable à sucre) avec 7 cultivars d'argousier, sur trois types de sol différents. Après trois saisons de croissance, plusieurs résultats concernant l'effet du type de haie et de sol sur la croissance et la survie des essences plantées, les problèmes phytosanitaires et de malformation rencontrés sur les plants, la production fruitière de l'argousier ainsi que l'effet de la haie brise-vent sur la culture céréalière sont documentés. Dans certains cas, des différences significatives sont remarquables en fonction des clones de peuplier hybride ou des cultivars d'argousier.

Bien que le projet d'étude soit terminé pour l'instant, l'agriculteur, lui, devra prévoir des travaux d'entretien et des suivis phytosanitaires réguliers à court terme, s'il souhaite conserver tous les avantages de sa haie brise-vent (survie et bon développement des plants). De plus, lorsque les argousiers auront atteint leur productivité maximale, soit après 7 à 8 ans de croissance, il faudra envisager une méthode de récolte appropriée pour les fruits, un endroit où les conserver ainsi que des marchés intéressants pour les vendre, s'il souhaite commercialiser sa production.

Enfin, même si certaines tendances sont déjà visibles après 3 années de croissance, plusieurs hypothèses de recherche restent encore sans réponse. Actuellement, le dispositif est probablement encore trop jeune et les plants trop petits pour que l'on puisse observer certains effets. Il est donc essentiel que des mesures soient réalisées à moyen et long termes, afin de mieux comprendre les facteurs qui favorisent la croissance des espèces plantées et la production fruitière de l'argousier, les interactions entre les espèces arborescentes et l'argousier ainsi que l'effet brise-vent sur les céréales.

REFERENCES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). (2007). L'argousier - une culture polyvalente et prometteuse pour la Saskatchewan. Récupéré le 22 juin 2012 sur le site web : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC>.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). (2014). Maladies et ravageurs. Récupéré le 29 juillet 2015 sur le site web : <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/agroforesterie/maladies-et-ravageurs/?id=1344636727377>.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada et MAPAQ 2008. La culture de l'argousier, 75 p.
- Albrecht, H.J., J. Gerber, H.J. Koch et D. Wolf. (1984). Experience in growing sea buckthorn. *Gartenbau 31*: 242-244.
- Archambeault, D., Vaillancourt, E., Lajeunesse, C. et Lupien P. 2007. Les tailles de formation et l'élagage des plants feuillus. Agence forestière de la Montérégie.
- Balleux, P., de Wouters, P., Loren, V., La taille de formation des arbres forestiers, Fiche technique #5, Société Royale de Belgique. 9 pp.
<http://www.srfb.be/sites/default/files/20121022103137.pdf>.
- Beudet, M. & C. Messier. (1998). Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a naturel light gradient. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 1007-1015.
- Beaudoin Nadeau, M., Ruel, M., D. Blouin, E. Boulfroy, D. Malenfant et D. Babin. 2016. Expérimentation de haies brise-vent productives – Revue de littérature. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2016-11. 65 p.
- Bernier Leduc, M., A. Vanasse, A. Olivier, D. Bussièrès et C. Maisonneuve. (2009). Avian fauna in windbreaks integrating shrubs that produce non-timber forest products. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 131: 16-24.
- Boivin, C., J. Bouchard, D. Bergeron, M. Roy et E. Fortier. (2008). La culture de l'argousier. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Bibliothèque Nationale du Québec. ISBN 978-2-7649-0203-5.
- Bouchard, D. & M. Masseau. (1986). L'influence des bordures et des brise-vent sur les insectes ravageurs et entomophages. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Gouvernement du Québec.

- Brandle, J.R., L. Hodges et X.H. Zhou. (2004). Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems* 61: 65-78.
- Choinière, L., Y. Pesant et L. Bélanger. (1996). Fréquentation des haies brise-vent par la faune aviaire et la flore : perspectives d'intégration faune-agriculture. Projet # 25-840262-06067. Ministère de l'Agriculture et Agroalimentaire. Gouvernement du Canada.
- Dumont, M. (1995). Plantation des feuillus nobles – Guide. Les publications du Québec. Sainte-Foy, 126 p.
- Esau, R. & R. Grover. (1978). Herbicides et brise-vents. Publication 1511. Ministère de l'Agriculture du Canada. Gouvernement du Canada. ISBN 0-662-90021-9.
- Gardner, I.C., D.M. Clelland et A. Scott. (1984). Mycorrhizal improvement in non-leguminous nitrogen fixing associations with particular reference to *Hippophae rhamnoides* L. *Plant and Soil* 78 : 189-199.
- Gosselin, J. (2005). Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 2b - Plaine du Saint-Laurent, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations. Guide technique des dispositifs agroforestiers. (GTDA). (2007). Agriculture et Agroalimentaire Canada, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada.
- Guinaudeau, C. (1988). Les haies brise-vent et bandes boisées. Les pratiques du jardinage. Librairie Larousse. ISBN 2-03-515120-1.
- IRDA, 2000. Étude pédologique-Les terres cultivées de la MRC de la Côte-de-Beaupré. ISBN : 2-922851-00-11-30. 133 p.
- Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB). 2000. Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique-Observations et mesures. 32 p.
- Haselwandter, K. & G.D. Bowen. (1996). Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management* 81 : 1-17.
- Heisler, G.M. & D.R. DeWalle. (1988). Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23 : 41-69.
- Jobidon, R. (1995). Autoécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière du Québec – Revue de littérature. Mémoire de recherche forestière

no 117. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la Science Forestière. 180 p.

Lebel, F. et L.M. DeRoy (2007). Introduction de produits forestiers non ligneux dans des bandes riveraines et des haies brise-vent. Rapport présenté au Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Centre d'expertise sur les produits agroforestiers et Fédération de l'UPA de la Côte-du-Sud. 26 p. + annexes.

Li, T.S.C. & W.R. Schroeder. (1996). Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a multipurpose plant. *Hort Technology* 6(4) : 370-380.

Li, T.S.C. & C. McLoughlin. (1997). Sea buckthorn production guide. Canada Seabuckthorn Enterprises Limited

Li, T.S.C. (2000). Research and development of seabuckthorn in Canada – A success story. Agriculture and Agri-Food Canada, Pacific Agri-Food Research Centre, Summerland, British Columbia, Canada.

Li, T.S.C. & A. Oliver. (2001). Sea buckthorn : *Hippophae rhamnoides* L.. Special crops factsheet. Ministère de l'Agriculture, des Aliments et de la Pêche. Kamloop, Colombie-Britannique.

Li, T.S.C. & T.H.J. Beveridge. (2004). Production et utilisation de l'argousier (*Hippophae rhamnoides* L.). *Les Presses Scientifiques du CNRC*. CNRC-NRC. Ottawa, Canada.

Lupien, P. (2004). Des feuillus nobles en Basse-Mauricie – Guide de mise en valeur. Fonds d'information, de recherche et de développement de la forêt privée mauricienne (FIRDFPM) et Syndicat des producteurs de bois de la Mauricie. Shawinigan, 248 p.

Lupien, P. (2008). Conduites sylvicoles dans les zones feuillues et mixtes du Québec. Guide d'accompagnement. Fonds d'information de recherche et de développement de la forêt privée mauricienne (FIRDFPM). Syndicat des producteurs de bois de la Mauricie. Trois-Rivières. 364 p.

Manitoba Agriculture, Food, and Rural Initiatives (MAFRI). (2008). Sea buckthorn production in Manitoba. Récupéré le 12 août 2012 sur le site web : <http://www.gov.mb.ca/agriculture>.

Mann, D.D., D.S. Petkau, T.G. Crowe et W.R. Schroeder. (2001). Removal of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries by shaking. *Canadian Biosystems Engineering* 43: 223-228.

- Maurin, V. 2013. L'élagage des peupliers, équilibre entre saison et intensité ! Chaire industrielle en aménagement forestier durable. Couvert boréal, hiver 2013. p. 30-31.
- Ministère des Ressources naturelles. 2013. Les rouilles des conifères. Direction de la protection des forêts. Gouvernement du Québec. 26 p.
- Ming, T. & C. Hui. (1999). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi alkaline phosphatase activities on *Hippophae rhamnoides* drought-resistance under water stress conditions. *Trees 14*: 113-115.
- Nyland, R.D. (1999). Sugar maple : its characteristics and potentials. In "Sugar maple Ecology and Health". Proceedings of an international Symposium. U.S. Department of Agriculture, Forest Science. Northeastern Research Station. *Gen. Tech. Rep. 261*: 1-13.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadass et A. Simons. (2009) Agroforestry database : a tree reference and selection guide version 4.0. Web address : <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>.
- Perron, M. (2006). Le mélèze hybride et la sylviculture intensive : parce que le temps c'est de l'argent. Présenté au Réseau Ligniculture Québec, le 24 mars 2006. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Disponible en ligne : http://www.unites.uqam.ca/rlq/colloque2006/presentations/presentation_perron.pdf.
- Protz, A. & P. Owen Moen. (1979). Planification de la ferme. Publication 1674. Ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan, Agriculture Canada.
- Réseau Ligniculture Québec. 2011. Le Guide de populiculture au Québec : guide pratique sur la culture du peuplier hybride au Québec. 124 p.
- Réseau Ligniculture Québec. 2007. Le mélèze : une essence prometteuse pour le Québec. Info-RLQ. Vol. 4, No 6. 4 p.
- Réseau Ligniculture Québec. 2014. Lignes et Cultures-Bulletin de Réseau Ligniculture Québec. Vol. 13, No 1.
- Ressources naturelles Canada. (2013) Insectes. Récupéré le 29 juillet 2015 sur le site web : <http://aimfc.rncan.gc.ca/fr/insectes/tous>.
- Robitaille, D. 1999. Argousier : Guide de production, Génération Ginseng, 19 p.
- Robitaille, A. et Saucier, J-P. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Québec, 213p.

- Ruel, M., D. Blouin, G. Lessard, E. Boulfroy, P. Bournival, D. Malenfant et D. Babin. 2016. Expérimentation de haies brise-vent productives – Rapport méthodologique. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2016-10. 59 p.
- Schroeder, W.R. (1988). Planting and establishment of shelterbelts in humid severe-winter regions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23 : 441-463.
- Shaw, D.L. (1988). The design and use of living snow fences in North America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23 : 351-362.
- Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty et P.M.S. Ashton. (1997). The practice of silviculture : applied forest ecology. 9th edition. John Wiley & Sons. United States of America.
- Thien, S.J. 1979. *Journal of Agronomic Education*. Vol. 8. pp. 54-55.
- Timbal, J., A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu. (1994). Le chêne rouge d'Amérique. INRA. Paris, 564 p.
- Tremblay, J., G. Laflamme, L. Innes et G. Bussière. Maladies des arbres du Québec. Centre collégial de développement de matériel didactique en collaboration avec le Cégep de Sainte-Foy. Disponible en ligne : http://arbres.ccdmd.qc.ca/reus_credits.php.
- Trépanier, M. (2009). 3^e congrès de l'Association internationale de l'argousier : Résumés des conférences présentées et analyse de l'incidence de ces travaux sur la production et la transformation de l'argousier au Québec. L'Association des producteurs d'argousier du Québec et l'Université Laval. Québec, Canada.
- Vézina, A. (2001). Les haies brise-vent. Formation continue : cours #19. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec.
- Vézina, A. (2005). Des haies brise-vent autour des bâtiments d'élevage et des cours d'exercice. Fédération des producteurs de porc du Québec, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Institut de technologie agroalimentaire de La Pocatière et Conseil canadien du porc. Site internet : <http://www.wbvecan.ca>.
- Vézina, A. & A. Tourigny. (2007). Coûts et bénéfices des haies brise-vent. Environnement : Porc Québec. Fédération de l'UPA de la Mauricie.
- Vézina A., P. Desbiens et N. Nadeau (2007). Choix et arrangement des végétaux en haies brise-vent et en bandes riveraines. Institut de technologie agroalimentaire, campus de La Pocatière. 119 p.

- Wolf, D. & F. Wegert. (1993). Experience gained in the harvesting and utilization of sea buckthorn, p. 23-29. *In: Cultivation and utilization of wild fruit crops.* Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co.
- Yao, Y. & P.M.A. Tigerstedt. (1994). Genetic diversity in *Hippophae* L. and its use in plant breeding. *Euphytica* 77 : 165-169.