



Haies brise-vent multifonctionnelles pour la protection des routes et la production de biomasse

Projet R725.1

André Vézina, M. Sc.

et

Lucie Laroche, t.d.a.

Biopterre – Centre de développement des bioproduits

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

31 décembre 2018

Page d'avertissement

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et a été financée par la Direction générale de la gestion des actifs routiers et de l'innovation.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports.

Collaborateurs

Jean-Pierre Dion, t.d.a., Biopterre

Julien Gauthier, stagiaire, Biopterre

Martine Freedman, Ph. D., Conseillère à la recherche, Direction de la coordination de la recherche et de l'innovation, M.T.Q.

Roger Gagnon, Directeur de l'exploitation, Direction du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, M.T.Q.

Émilie Godbout, ing., Direction de l'encadrement et de l'expertise en exploitation, Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation, M.T.Q.

Jean-Philippe Robitaille, biol., M. Env., Direction de l'environnement, Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation, M.T.Q.

Papa Demba Seye, Coordonnateur Secteur Recherche, transfert technologique et adaptation aux changements climatiques, Direction de la coordination de la recherche et de l'innovation, Direction générale de la gestion des actifs routiers et de l'innovation, M.T.Q.

Étienne St-Onge, ing., Module de l'exploitation Bas-Saint-Laurent, Centre de services de Cacouna, M.T.Q.

Remerciements et note sur l'auteur

Nous tenons d'abord à remercier tous les propriétaires qui nous ont permis d'installer des haies dans leurs champs. Sans leur collaboration, cette étude n'aurait pu être réalisée. Merci également à messieurs Yves Berger, Gilles Michaud, Blondin Deschamps, Carlo Brousseau, Anthony Berger, Étienne St-Onge, et tous les collaborateurs du ministère des Transports pour leur coopération exemplaire dans ce projet.

M. André Vézina, l'auteur du rapport, est spécialiste en agroforesterie. Il a participé, depuis 1984, à une vingtaine de projets de recherche et de transfert technologique touchant surtout les haies brise-vent, mais aussi les plantations de saules. Il a de plus contribué à l'implantation de plus de 1 000 km de haies brise-vent pour protéger les cultures, les sols, les bâtiments et les routes.

SOMMAIRE

Ce projet avait comme objectif d'évaluer la pertinence de haies brise-vent constituées de saules arbustifs à croissance rapide installés pour protéger des sections de route problématiques à Cacouna. L'analyse visait d'abord à vérifier comment le réseau de haies permet d'économiser sur les frais d'entretien hivernal de la route. Comme les haies sont implantées sur des terrains agricoles, l'étude visait aussi à déterminer si les haies pouvaient apporter un revenu à l'entreprise agricole, via la production de biomasse ou les augmentations de rendement.

Seize haies de saules (principalement *Salix miyabeana*) ont été implantées en 2014 et en 2015 chez 6 entreprises agricoles afin de protéger des sections des routes 191, de l'Église et de l'Avenue du Port à Cacouna. Au total, 4 899 plants de saules ont été mis en terre sur une longueur de 2,9 km. En octobre 2017, la hauteur moyenne des plants variait selon les haies entre 1,5 et 3,6 m et la moyenne de toutes les haies est de 2 m. Les taux de survie des plants varient, selon les haies, entre 53 et 97 % et la moyenne globale est de 80 %. Le grand écart entre les résultats s'expliquerait par la nature et la richesse des sols ainsi que par les dérives d'herbicides. La haie 13, plantée en terre organique, présente les meilleurs résultats, comparables à ceux obtenus avec d'autres haies de saules dans le Bas-Saint-Laurent. En moyenne, la croissance et le taux de survie sont toutefois inférieurs à ce que nous anticipions (1,5 m de croissance en hauteur par an et un taux de survie de 95 %).

La plupart des haies de saules ont été coupées au ras du sol (recépage) en mai 2018 afin de récolter la biomasse. La hauteur moyenne des plants recépés est de 1,9 m en octobre 2018, soit à peine 10 cm de moins que la hauteur moyenne des plants avant recépage. De plus, le recépage des haies a augmenté la densité des haies, ce qui peut avoir un impact positif sur le captage de neige avant la route.

Durant les hivers 2015-2016 et 2016-2017, nous avons effectué des relevés des opérations de déneigement dans des zones protégées par les haies implantées et dans des zones témoins (zone ouverte). Les camions attitrés au déneigement de ces zones étaient munis d'un système de télémétrie permettant d'enregistrer si la lame de déneigement était baissée ou non et si l'épandeur était actif ou non. Les résultats du premier hiver ont été non concluants car le système de télémétrie n'était pas assez précis pour la longueur de la zone étudiée. Durant le deuxième hiver, nous avons augmenté la longueur des zones étudiées, mais ce ne fut pas suffisant pour améliorer la validité des résultats. Durant le troisième hiver, nous avons opté pour des mesures de hauteur de neige dans des zones protégées par des haies. De plus nous avons survolé les haies à l'aide d'un drone pour visualiser le profil de distribution de neige. Nous avons constaté qu'il y avait une bonne quantité de neige trappée par les haies. Les haies implantées ont rapidement atteint 1,3 m, soit la hauteur d'une clôture à neige standard.

Dans de bonnes conditions, elles ont doublé et presque triplé cette hauteur au bout de 3 ans.

Ce projet visait aussi à évaluer la rentabilité des haies de saules pour l'entreprise agricole en mesurant les variations de rendements des cultures et les rendements en biomasse des haies. En 2016 et 2017, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les rendements dans la zone protégée par les haies et ceux mesurés dans la zone témoin. Les rendements en foin étaient très faibles et très inégaux dans les champs étudiés, ce qui a pu avoir un impact sur les résultats.

Les rendements en biomasse obtenus suite au recépage des saules varient entre 0,64 et 5,35 tma/ha/an selon les haies. Les meilleurs rendements sont obtenus avec la haie 13 qui poussait dans un sol organique. Les haies 1 à 4 poussaient dans un sol sableux très sec assez pauvre et les étés ont été arides ce qui a conduit à des rendements très faibles.

En supposant une augmentation de rendement de 2,5 % sur 10 H et des rendements en biomasse de saule de 5 tma/ha/an, il n'y a pas d'avantage économique, sur une période de 40 ans, pour une exploitation agricole d'installer des haies de saules pour protéger une culture de foin, même si les coûts d'implantation et l'entretien sont assumés par le MTQ. Lorsqu'actualisés, les coûts de perte d'espace cultivable engendrés par la présence de la haie excèdent légèrement les revenus liés aux augmentations de rendement et de récolte de biomasse.

Cette étude montre donc que l'intérêt économique des haies pour l'entreprise agricole est mitigé, même si les coûts d'implantation et d'entretien sont défrayés par le MTQ. Il faut donc prévoir un incitatif financier plus attrayant pour inciter les producteurs agricoles à installer des haies.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE.....	15
INTRODUCTION	17
1 PROBLÉMATIQUE.....	19
2 IMPLANTATION ET SUIVI DES HAIES.....	21
2.1 Méthodologie.....	21
2.1.1 Sélection des sites.....	21
2.1.2 Description des sites retenus pour l'étude	22
2.1.3 Implantation des haies brise-vent	27
2.1.4 Entretien et recépage des haies	29
2.1.5 Mesure des taux de survie et de croissance	31
2.2 Analyse des résultats.....	31
2.2.1 Mesure des taux de survie	31
2.2.2 Mesure de la croissance en hauteur des saules	33
3 IMPACT DES HAIES SUR LES ACTIVITÉS DE DÉNEIGEMENT	39
3.1 Mesures de 2015-2016.....	39
3.2 Mesures de 2016-2017.....	41
3.3 Hiver 2017-2018.....	43
4 ÉTAPE 3 : ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ DES HAIES DE SAULES POUR LE PRODUCTEUR AGRICOLE.....	49
4.1 Mesure de l'impact des haies sur les rendements des cultures : étés 2016 et 2017.....	49
4.1.1 Méthodologie	49
4.1.2 Analyse des résultats.....	51
4.2 Mesure des rendements en biomasse de saule.....	54
4.3 Impact économique des haies	56
5 MISE EN ŒUVRE (APPLICATIONS, UTILISATEURS POTENTIELS, ETC.) ET RETOMBÉES, BÉNÉFICES POUR LE MTQ	59
6 CONCLUSION.....	61
7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63

ANNEXE A COPIE D'UNE ENTENTE ENTRE UN PROPRIÉTAIRE DE LOT ET LE MINISTÈRE DES TRANSPORTS.....	65
ANNEXE B DIRECTION DES VENTS À RIVIÈRE-DU-LOUP.....	75
ANNEXE C MOYENNES MENSUELLES DES PRÉCIPITATIONS DE 1981 À 2010 ET 2014 À 2018.....	79
ANNEXE D RÉSULTATS D'ANALYSE DE SOL - CHAMP DES HAIES 1, 2, 3 ET 4.....	83
ANNEXE E FOIN – RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2016 PAR TERRITOIRE DE STATION MÉTÉO	87
ANNEXE F FOIN - RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2017 PAR TERRITOIRE DE STATION MÉTÉO	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Description des haies	26
Tableau 2 Taux de survie 2014 à 2018	31
Tableau 3 Accroissement annuel en hauteur des haies pour les cinq ans de l'étude	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Sections de route problématiques, Cacouna.....	21
Figure 2 Vue d'ensemble des haies	23
Figure 3 Localisation des haies 1 à 12	24
Figure 4 Localisation des haies 13, 14, 15 et 17	25
Figure 5 Plantation de boutures de saule sur paillis de plastique	27
Figure 6 Haie 13, une semaine après la plantation	28
Figure 7 Implantation de la haie 17 à l'aide d'une tarière mécanique (avant et après).....	29
Figure 8 Haie avant et après le dégagement des mauvaises herbes	30
Figure 9 Recépage décembre 2016 (pendant et après)	30
Figure 10 Photos montrant le faible taux de survie des saules (15 août 2014)	32
Figure 11 Haie 13 boutures et plançons, le 15 août 2014	32
Figure 12 Mortalité (plants brunis) dans la haie 15, été 2016	33
Figure 13 Photos, en octobre 2018, des haies 13 (gauche) et 17 (droite) recépées en mai 2018	37
Figure 14 Zones retenues pour l'étude sur le déneigement (2015-2016)	39
Figure 15 Zone de mesure haies 1, 2, 3, 4 et nouvelle zone témoin haies 5 et 6 recépées	41
Figure 16 Localisation des zones de mesures d'accumulation de neige de janvier à mars 2018	43
Figure 17 Installation des balises, janvier 2018.....	44
Figure 18 Hauteur de neige accumulée par haie selon la distance de janvier à mars 2018	45

Figure 19 Haie 17 nord, étalement de la neige et présence de haie mature 15 mars 2018.....	46
Figure 20 Présence d'un banc de neige en bordure de route près du site témoin nord 15 mars 2018.....	46
Figure 21 Accumulation de neige par la haie 11, 22 janvier 2018	47
Figure 22 Vue aérienne des haies 1, 2, 3 et 4, 23 avril 2018.....	48
Figure 23 Plan d'échantillonnage pour évaluation des rendements de foin ...	49
Figure 24 Sites d'échantillonnage de foin 2016 et 2017	50
Figure 25 Variation des rendements totaux (haies 1 et 3 confondues) en fonction de la distance de la haie.....	53
Figure 26 Déchiquetage et récolte des copeaux de saule, Cacouna, mai 2018	54
Figure 27 Haie à la plantation (2014) à gauche et suite au recépage (2018) à droite	55

GLOSSAIRE

FADQ : La Financière agricole

H : Hauteur de la haie

MAPAQ : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

MTQ : Ministère des Transports

tma/ha : tonne métrique anhydre par hectare

INTRODUCTION

En avril 2014, Biopterre a obtenu un mandat du service de recherches du MTQ de réaliser une étude sur l'impact de haies brise-vent multifonctionnelles pour assurer la protection hivernale des routes. Ce projet avait comme objectif principal de vérifier la rentabilité économique de l'installation d'un réseau de haies brise-vent constituées de saules à croissance rapide : principalement *Salix miyabeana*. L'analyse économique a été réalisée à deux niveaux, un pour le MTQ et l'autre pour le producteur agricole. Pour le MTQ, le projet a permis de vérifier si le réseau de haies permettait d'économiser sur les frais d'entretien de la route. Pour le producteur agricole, nous avons évalué comment les haies influencent les rendements des cultures et comment elles pourraient rapporter par la production de biomasse. Les coûts d'implantation et d'entretien des haies ont été comptabilisés. Ultimement, cette étude a permis d'évaluer si les économies réalisées pour l'entretien des routes justifient les coûts d'implantation et d'entretien des haies et si les gains potentiels pour le producteur compensent les pertes occasionnées par les haies. Le projet s'est déroulé dans des secteurs problématiques de la région de Cacouna identifiés par messieurs Yves Berger et Blondin Deschamps du ministère des Transports. Il a débuté en avril 2014 et devait se terminer en décembre 2017, nous avons cependant décidé d'en prolonger la durée jusqu'en octobre 2018, puisque les étés 2014, 2015, 2016 et 2017 ont été particulièrement secs et que la croissance des végétaux était beaucoup plus faible qu'en temps normal, compromettant ainsi les résultats escomptés. Le rapport suivant présente donc la problématique, la méthodologie, l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus durant ce projet.

1 PROBLÉMATIQUE

Dans le Bas-Saint-Laurent, les routes situées en milieu agricole près du fleuve Saint-Laurent sont balayées durant l'hiver par des vents violents. La poudrerie soulevée par ces vents cause des problèmes de visibilité et rend aussi la chaussée plus glissante pour le public voyageur. L'accumulation de neige sur les routes génère aussi des dépenses d'entretien importantes pour le ministère des Transports (MTQ) et les municipalités. Cette problématique peut être résolue, sinon atténuée, par l'installation de brise-vent qui permettent de trapper la neige et de réduire son accumulation sur la chaussée (Vézina, 2011 ; Williamson et Volk, 2010). Le MTQ a installé, au fil des ans, plusieurs dizaines de kilomètres de haies brise-vent constituées principalement d'épinettes blanches (*Picea glauca*) et de Norvège (*Picea abies*). Ces haies prennent une dizaine d'années avant d'être efficaces et elles exigent de l'entretien. Lorsqu'elles sont installées sur des terrains agricoles, elles occupent de l'espace cultivable et entraînent une perte de rendements des cultures sur environ 1 fois leur hauteur. Dans certains cas, cette perte peut être compensée par un gain entre 1 et 20 fois la hauteur de la haie. Pour ces raisons, les producteurs agricoles sont réticents à installer des haies constituées d'arbres. Inspiré par les travaux de Volk et coll. (2004), Biopterre - Centre de développement des bioproduits propose un nouveau modèle de haie constituée d'arbustes à croissance rapide. Ces saules sont fauchés aux trois ans et on peut en tirer un revenu pour le producteur agricole qui sera plus enclin à adopter cette pratique. Les saules sont coupés au printemps et ils vont repousser suffisamment durant l'été pour assurer une bonne protection durant l'hiver suivant. Ce projet s'inscrit bien dans le contexte favorable au Québec visant le remplacement des énergies fossiles utilisées pour le chauffage par de la biomasse.

2 IMPLANTATION ET SUIVI DES HAIES

2.1 Méthodologie

2.1.1 Sélection des sites

Les sections de routes à protéger sont identifiées sur la figure suivante. Tous les propriétaires des lots bordant ces routes ont été contactés en avril 2014 par Biopterre afin de connaître leur intérêt à participer au projet en permettant l'installation de haies sur leur propriété.



Figure 1 Sections de route problématiques, Cacouna

Six propriétaires sur les dix contactés ont manifesté un intérêt à participer au projet. Chaque propriétaire intéressé a été rencontré afin de présenter le projet d'étude, en expliquant la problématique et la solution envisagée. Les producteurs intéressés percevaient les avantages des haies brise-vent, soit la protection de la route, la protection de leurs cultures et le revenu éventuel que pourrait leur procurer une haie multifonctionnelle. Chez ces propriétaires, le facteur déterminant leur participation au projet était que les haies soient implantées à des endroits nuisant le moins possible à leurs opérations. Deux propriétaires de fermes voisines, qui étaient indécis lors de la première rencontre, ont décidé de participer à l'étude en implantant une haie commune sur la ligne de lot séparant leurs propriétés. Les propriétaires ayant refusé de participer au projet ont justifié leur décision par la perte d'espace cultivable induite par les haies et par la nuisance aux opérations culturales.

La localisation des haies a été déterminée avec les propriétaires de lots tout en s'assurant d'avoir un impact sur la protection des sections de route problématiques. Il a été convenu qu'à la fin de l'étude, le terrain où sont plantées les haies serait remis dans l'état où il était avant le projet, si le propriétaire en fait la demande. Chaque propriétaire a signé une entente avec le MTQ (annexe A) afin de confirmer sa participation à l'étude.

2.1.2 Description des sites retenus pour l'étude

Les haies implantées sont localisées au nord-ouest de la route 191, au sud-ouest de la route de l'Église et au sud-ouest de l'Avenue du Port (fig. 2). Elles sont orientées perpendiculairement aux vents provenant du S.-O., direction dominante des vents durant l'hiver (annexe B). Les haies suivent l'orientation des lots, ce qui permet de réduire les pertes d'espace cultivable et les interactions négatives avec les opérations culturales.

Les haies 1 à 14 ont été implantées au printemps 2014 et les haies 15 et 17 l'ont été au printemps 2015. Les haies 1 à 12 et 15 se trouvent dans un loam sablo-schisteux Saint-André, la haie 13 dans une terre noire et les haies 14 et 17 dans une argile Saint-Pascal. La haie 16 a été planifiée mais non réalisée faute d'entente entre voisins. La figure 2 présente un plan de l'ensemble des haies, les figures 3 et 4 présentent une vue plus détaillée.



Figure 2 Vue d'ensemble des haies

Les haies 1 à 12 ont été implantées perpendiculairement à la route 191 et elles mesurent entre 80 et 150 m de long (fig. 3).



Figure 3 Localisation des haies 1 à 12

Les haies 13 et 15 sont parallèles à la route de l'Église et mesurent respectivement 247 et 265 m (fig. 4). Les haies 14 et 17 sont parallèles à l'Avenue du Port et elles mesurent respectivement 328 et 935 m de long.



Figure 4 Localisation des haies 13, 14, 15 et 17

Une description plus exhaustive des haies est présentée au tableau 1. On y retrouve leur localisation, leurs coordonnées, le type de sol, leur longueur, la distance les séparant de la route, le format des plants à la plantation et leur date d'implantation.

Tableau 1 Description des haies

Haie	Coordonnées lat/long	Type de sol	Longueur de la haie (m)	Quantité <i>Salix miyabeana</i>	Distance de la route (m)	Format des plants	Date d'implantation
1	47°52'24,99" N 69°29'35,42" O	St-André loam sablo-schisteux	93	186	19,5	boutures	9 juin 2014
2	47°52'26,16" N 69°29'34,09" O	St-André loam sablo-schisteux	92	184	18	boutures	9 juin 2014
3	47°52'27,34" N 69°29'32,92" O	St-André loam sablo-schisteux	87	174	17	boutures	9 juin 2014
4	47°52'28,36" N 69°29'31,30" O	St-André loam sablo-schisteux	87	174	13,5	boutures	9 juin 2014
5	47°52'32,14" N 69°29'27,34" O	St-André loam sablo-schisteux	101	202	9,5	boutures	9 juin 2014
6	47°52'35,62" N 69°29'24,49" O	St-André loam sablo-schisteux	121	242	11,5	boutures	9 juin 2014
7	47°52'42,13" N 69°29'18,20" O	St-André loam sablo-schisteux	152	304	11,5	boutures	9 juin 2014
8	47°52'56,80" N 69°29'55,84" O	St-André loam sablo-schisteux	51	102	9,5	boutures	9 juin 2014
9	47°52'58,65" N 69°29'54,52" O	St-André loam sablo-schisteux	103	206	11	boutures	9 juin 2014
10	47°53'11,02" N 69°28'39,84" O	St-André loam sablo-schisteux	96	192	17,5	boutures	9 juin 2014
11	47°53'12,31" N 69°28'37,80" O	St-André loam sablo-schisteux	80	160	20,0	boutures	9 juin 2014
12	47°53'13,66" N 69°28'35,99" O	St-André loam sablo-schisteux	79	158	12,5	boutures	9 juin 2014
13	47°53'11,02" N 69°28'39,84" O	Terre noire	247	494	51,0	boutures et plançons	9 juin 2014
14	47°54'47,02" N 69°52'52,67" O	Argile St-Pascal	328	656	85,0	boutures	9 juin 2014
15	47°53'12,31" N 69°28'37,80" O	St-André loam sablo-schisteux	265	530	n.d.	boutures	8 juin 2015
17	47°54'55,82" N 69°28'35,99" O	Argile St-Pascal	935	935	n.d.	boutures et plançons	13 au 15 mai 2015

2.1.3 Implantation des haies brise-vent

L'implantation des haies 1 à 14 a eu lieu en juin 2014. En 2014, la fonte des neiges s'est prolongée, ce qui a retardé l'accès de la machinerie au champ ainsi que la plantation. L'implantation des haies s'est déroulée selon les étapes suivantes :

1. Localisation des haies en avril et mai ;
2. Travail primaire du sol, labour, lorsque nécessaire, en juin ;
3. Travail secondaire du sol (rotocultage), du 5 au 10 juin ;
4. Déroulage mécanique d'un paillis de plastique le 9 juin ;
5. Plantation manuelle des boutures de saule le 9 juin.

Le paillis de plastique a une largeur de 1,5 m et une épaisseur de 0,07 mm. Une fois déroulé au sol et les bordures enterrées, il offre une largeur hors sol d'environ 1 m pour l'implantation des végétaux. Des boutures de 20 cm de long ont été plantées dans le paillis, en laissant environ 5 cm de tige au-dessus de la surface du sol (fig. 5). Les haies sont constituées de 2 rangées de plants espacés de 1 m sur le rang. Les rangs sont espacés de 50 cm et les saules sont plantés en quinconce afin de leur donner plus d'espace.



Figure 5 Plantation de boutures de saule sur paillis de plastique

L'implantation de la haie 13 s'est déroulée différemment puisque celle-ci est située sur une terre noire trop humide pour le passage de la machinerie agricole. Après un débroussaillage mécanique, des tiges de saule d'environ 2 m de longueur (plançons) et des boutures de 20 cm de longueur ont été plantées, directement dans le sol (fig. 6). Les plançons utilisés, qui sont dépourvus de racines, sont enfouis dans le sol sur environ la moitié de leur hauteur. Les plançons et les boutures sont espacés de 0,5 m. Suite à la plantation, on a procédé au déroulage manuel de deux bandes de paillis de plastique de 40 cm de largeur, de chaque côté du rang. Ces bandes ont été fixées au sol à l'aide de broches.



Figure 6 Haie 13, une semaine après la plantation

Les haies 15 et 17 ont été implantées en mai et juin 2015. Le principal clone de saule utilisé est le *Salix miyabeana*. Cependant, le *Salix viminalis* a aussi été utilisé en petite quantité pour combler un manque du premier clone chez nos fournisseurs. La haie 15 a été implantée de la même manière que les haies implantées en 2014. La haie 17 a été implantée dans un sol compacté contenant une forte quantité de roches (15 à 60 cm de diamètre) sur une profondeur de 15 à 60 cm. Les risques de bris de machinerie étaient trop élevés pour procéder au travail du sol (sous-solage, labour et rotocultage) ainsi qu'au déroulage mécanique du paillis. Par conséquent, nous avons utilisé une tarière mécanique pour creuser et ameublir le sol (fig. 7). Des boutures et des plançons ont ensuite été plantés à tous les mètres. Comme pour la haie 13, une bande de paillis de plastique de 40 cm de largeur a ensuite été déroulée à la main de chaque côté de la haie et fixée au sol à l'aide de broches.



Figure 7 Implantation de la haie 17 à l'aide d'une tarière mécanique (avant et après)

2.1.4 Entretien et recépage des haies

Suite à une visite effectuée le 15 août 2014, nous avons constaté que les abords des haies, dont le sol avait été laissé à nu après la plantation, étaient densément recouverts de mauvaises herbes. Les abords de toutes les haies ont donc dû être désherbés (fig. 8). Ce désherbage a été fait chaque année en juillet afin de limiter la croissance des mauvaises herbes. De plus, chaque année, en mai ou juin, les plants morts ont été remplacés par des boutures de *Salix miyabeana* et/ou *Salix viminalis* selon la disponibilité.



Figure 8 Haie avant et après le dégagement des mauvaises herbes

En décembre 2016, les haies 5 et 6, ainsi qu'une section des haies 14 et 17, ont été coupées au ras du sol (recépées) à l'aide d'une débroussailleuse afin de créer des zones témoins pour évaluer l'impact des haies sur le déneigement (fig. 9). Les 14 et 15 mai 2018, les haies 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, et 17 ont été recépées afin de récolter la biomasse. Dans une optique de production de biomasse (Gasser et coll, 2013), on peut récolter les saules aux 3 à 5 ans sur une période de 25 ans, après quoi il est suggéré de remplacer la plantation. Dans une optique de protection de routes, nous recommandons de couper les saules aux 5 ans. Après 25 ans, on évaluera si on peut garder les saules une dizaine d'années de plus avant de les couper.



Figure 9 Recépage décembre 2016 (pendant et après)

2.1.5 Mesure des taux de survie et de croissance

Chaque année, les taux de survie et les hauteurs des saules ont été mesurés à la fin de la saison de croissance. Le taux de survie est calculé en dénombrant les saules morts et en divisant par le nombre total de saules plantés initialement. La hauteur des saules dans les haies a été mesurée à l'aide d'un gallon à mesurer précis à 5 mm près.

2.2 Analyse des résultats

2.2.1 Mesure des taux de survie

En 2014, les taux de survie varient entre 43 % (haie 14) et 90 % (haie 9), pour une moyenne globale de 75 % (tab. 2). Selon notre expérience, des taux de survie inférieurs à 95 % sont inhabituels pour des saules implantés sur paillis de plastique en milieu agricole. La plupart des haies sont implantées sur des loams sablo-schisteux réputés pour leur faible capacité de rétention en eau. De plus, l'été 2014 a été plus sec que la normale (annexe C), ce qui augmente le stress pour les plantes dans ce type de sol. Finalement, la plantation a été effectuée le 9 juin alors que l'on plante généralement à la mi-mai pour profiter des pluies printanières. Un propriétaire nous a confié avoir irrigué à plusieurs reprises ses parcelles de gazon au cours de l'été 2014, pratique dont il n'a pas l'habitude.

Tableau 2 Taux de survie 2014 à 2018

Haie	Nombre de saules plantés	Taux de survie (%)				
		2014	2015	2016	2017	2018
1	186	68	91	91	91	53
2	184	79	93	93	92	74
3	174	65	98	97	97	64
4	174	74	98	98	97	78
5	202	74	96	97	98	90
6	242	79	96	99	99	93
7	304	86	95	95	94	82
8	102	77	96	98	97	87
9	206	90	94	97	99	88
10	192	82	99	94	97	91
11	160	73	95	93	93	88
12	158	83	97	98	99	96
13	494	84	82	98	98	97
14	656	43	98	97	98	60
15	530	-	65	55	78	53
17	935	-	98	97	96	79
	moyenne	75	95	96	96	80

La figure suivante illustre le faible taux de survie des saules de deux haies. La présence d'un couvert herbacé important en bordure du paillis peut avoir un impact sur la croissance des saules.



Figure 10 Photos montrant le faible taux de survie des saules (15 août 2014)

En 2014, le taux de survie de la haie 13, constituée de plançons et de boutures plantés en terre noire, s'élève à 84 %. Cependant, les plançons affichent un taux de survie supérieur (95 %) à celui des boutures (73 %). La photo de la figure 11 illustre bien la vitalité des plançons qui ont semblé moins affectés par la sécheresse que les boutures.



Figure 11 Haie 13 boutures et plançons, le 15 août 2014

En 2015, 2016 et 2017, les taux de survie sont respectivement de 95, 96 et 96 %. Seule la haie 15 affiche un faible taux de survie, qui serait lié, entre autres, à une dérive d'herbicides employés dans la gazonnière attenante à la haie (fig. 12).



Figure 12 Mortalité (plants brunis) dans la haie 15, été 2016

En 2018, le taux de survie moyen chute à 80 %. Cela pourrait s'expliquer par la saison estivale très sèche qui a suivi le recépage des plants effectué en mai. On a aussi observé des plants affectés par la dérive d'herbicides dans au moins deux haies.

2.2.2 Mesure de la croissance en hauteur des saules

Les accroissements annuels en hauteur varient entre 20 cm/an (2016) et 123 cm/an (2018) (tab. 3). Ils sont respectivement de 67, 112 et 54 cm/an en 2014, 2015 et 2017. Trois années sur 5, les croissances en hauteur sont plus faibles que celles observées avec des plantations de saules dans le Bas-Saint-Laurent, qui se situent entre 1 et 1,5 m par an (Vézina, 2013, Gamache 2014). Cela s'explique sans doute par les mêmes facteurs qui ont influencé le taux de survie, soit les étés plutôt secs combinés aux sols à faible rétention en eau ainsi que les dérives d'herbicides.

La haie 13, plantée dans une terre noire (meilleure capacité de rétention en eau), présente le meilleur accroissement annuel moyen (131 cm/an). Les haies 1, 2, 3, 4, 7 et 15 présentent des accroissements en hauteur moyens très faibles (42 à 62 cm/an), principalement pour des raisons de fertilité des sols pour les cinq premières et de dérives de pesticides pour la haie 15.

Tableau 3 Accroissement annuel en hauteur des haies pour les cinq ans de l'étude

Haie	Hauteur moyenne 15 aout 2014 (cm)	Croissance annuelle 2014 (cm/an)	Hauteur moyenne 10 nov 2015 (cm)	Croissance annuelle 2015 (cm/an)	Hauteur moyenne 13 septembre 2016 (cm)	Croissance annuelle 2016 (cm/an)	Hauteur moyenne 17 octobre 2017 (cm)	Croissance annuelle 2017 (cm/an)	Hauteur moyenne 17 octobre 2018 (cm)	Croissance annuelle 2018 (cm/an)	Croissance annuelle moyenne (cm/an)
1	60	50	145	95	146	1	155	9	135	125	56
2	60	50	125	75	156	31	150	-6	120	110	52
3	75	65	150	85	164	14	160	-4	130	120	56
4	75	65	125	60	159	34	160	1	130	120	56
5	100	90	115	25	164	49	185	175	204	19	72
6	100	90	175	85	200	25	192	182	249	57	88
7	100	90	215	125	230	15	175	-55	145	135	62
8	90	80	215	135	235	20	260	25	170	160	84
9	100	90	225	135	240	15	230	-10	189	179	82
10	75	65	150	85	175	25	180	5	188	178	72
11	50	40	200	160	178	-22	205	27	204	194	80
12	50	40	215	175	224	9	265	41	226	216	96
13	150	70	245	175	294	49	360	66	303	293	131
14	60	50	215	165	215	0	240	230	226	-14	86
15	-	-	140	130	128	-12	85	-43	180	95	42
17	-	-	165	85	235	70	230	220	214	-16	90
Moyenne	82	67	176	112	196	20	202	54	188	123	75

Cellules en gris : recépage des plants (décembre 2016 et mai 2018)

Les haies de saules ont bien réagi aux recépages de 2016 et 2018, comme en témoignent les accroissements en hauteur qui se situent entre 110 et 293 cm/an dans la saison de croissance suivant le recépage. Les haies recépées regagnent rapidement la hauteur qu'elles avaient avant le recépage, assurant ainsi qu'il n'y a pas de perte de protection pour la route. Par exemple, la haie 13, qui mesurait 360 cm en octobre 2017, a été coupée à 10 cm au-dessus du sol (recépée) en mai 2018. Elle atteignait en octobre 2018 une hauteur de 303 cm (fig. 13), ce qui représente un accroissement annuel de 293 cm. On note aussi un accroissement du nombre de tiges par saule et une densité plus élevée de la haie, ce qui est favorable pour le trappage de neige.



Figure 13 Photos, en octobre 2018, des haies 13 (gauche) et 17 (droite) recépées en mai 2018

3 IMPACT DES HAIES SUR LES ACTIVITÉS DE DÉNEIGEMENT

Durant trois hivers, nous avons effectué des mesures pour quantifier l'impact des haies sur les activités de déneigement. Les sections suivantes présentent les fruits de ces efforts.

3.1 Mesures de 2015-2016

Au cours de l'hiver 2015-2016, des mesures sur le déneigement ont été effectuées dans des secteurs problématiques où se trouvent des haies brise-vent et des murs de neige ainsi que dans des zones témoins. Malgré le fait que les haies n'aient pas atteint la densité et la hauteur souhaitées pour le trappage de la neige, nous avons tout de même fait un tri dans les données collectées afin de voir si les haies commençaient à avoir un impact.

Les données de déneigement ont été relevées sur un circuit de 9,6 km divisé en 25 zones, 9 zones témoins, 9 zones avec haies brise-vent et 7 zones avec mur de neige. Les camions épandeurs attirés à ce circuit ont été munis d'un système de télémétrie qui enregistrerait si l'épandeur était actif ou inactif, si la lame de déneigement était baissée ou relevée. Deux des 25 zones du circuit ont été retenues pour l'étude. Ce sont les zones 2 (haies 1 à 4) et 3 (témoin) ainsi que les zones 16 (haies 10, 11 et 12) et 17 (témoin) (fig. 14). L'analyse a été réalisée sur ces deux zones uniquement puisqu'elles présentaient chacune une zone avec une haie voisine d'une zone sans haie présentant des longueurs comparables.



Figure 14 Zones retenues pour l'étude sur le déneigement (2015-2016)

Le tableau 4 présente les données de déneigement et d'épandage d'abrasifs de l'hiver 2015-2016. La colonne « Temps total déneigement « lame baissée » (h) » donne le temps nécessaire au déneigement d'une zone donnée. La colonne « Temps total épandage « épandeur actif » (h) » donne le temps nécessaire à l'épandage d'abrasifs d'une zone donnée. Ces données de temps ont été calculées pour 100 m afin de les comparer.

Tableau 4 Données de déneigement et d'épandage, hiver 2015-2016

Zone	Type	Haie	Longueur (m)	Temps total déneigement « lame baissée » (h)	Temps déneigement « lame baissée » pour 100 m (h)	Temps total épandage « épandeur actif » (h)	Temps épandage « épandeur actif » pour 100 m (h)
2	Haie	1-2-3-4	156	0:01:45	0:01:07	00:01:46	00:01:08
3	Témoin		117	0:15:31	0:13:16	00:00:36	00:00:31
16	Haie	10-11-12	136	0:16:34	0:12:11	00:03:34	00:02:37
17	Témoin		179	0:09:13	0:05:09	00:02:02	00:01:08

Dans la zone 2 (avec haies), la lame de la déneigeuse est baissée 11,8 fois moins longtemps que dans la zone 3 (sans haie). La zone 3 est localisée près d'une bande riveraine boisée, celle-ci a sans doute contribué à l'accumulation de neige sur la chaussée et ainsi aura augmenté le temps de déneigement de cette section.

Dans la zone 2 (avec haies) sur 100 m, l'épandeur a été 2,2 fois plus actif que dans la zone 3 (sans haie). Ces résultats sont surprenants étant donné que la lame de la déneigeuse était baissée plus souvent dans la zone 3. Les zones 16 et 17 présentent des résultats opposés : la lame de la déneigeuse est baissée 2,4 fois moins longtemps dans la zone 17 (sans haie) que dans la zone 16 (avec haies). Dans la zone témoin 17, les bâtiments au nord ont peut-être trappé de la neige avant la route, ce qui a réduit le temps où la lame de neige est abaissée. Pour 100 m de la zone 16 (avec haies) l'épandeur a été actif 2,3 fois plus longtemps que dans la zone 17 (sans haie).

Les résultats de 2015-2016 nous sont apparus comme non concluants. Après discussion avec MM. Carlo Brousseau et Anthony Berger, nous avons conclu que le système de télémétrie installé sur les camions du MTQ n'était pas adapté à la prise de données sur de si courtes distances.

3.2 Mesures de 2016-2017

L'analyse des données de 2015-2016 a mené à la révision du protocole pour l'hiver 2016-2017 afin, entre autres, d'allonger les longueurs des sections étudiées. Des zones témoins plus longues, exemptes d'obstacles ayant un impact sur l'accumulation de neige sur la route, ont été aménagées (fig. 15). C'est pourquoi les haies 5 et 6 ainsi qu'une partie des haies 14 et 17 ont été coupées au ras du sol en décembre 2016 afin de créer des zones témoins (sans brise-vent).

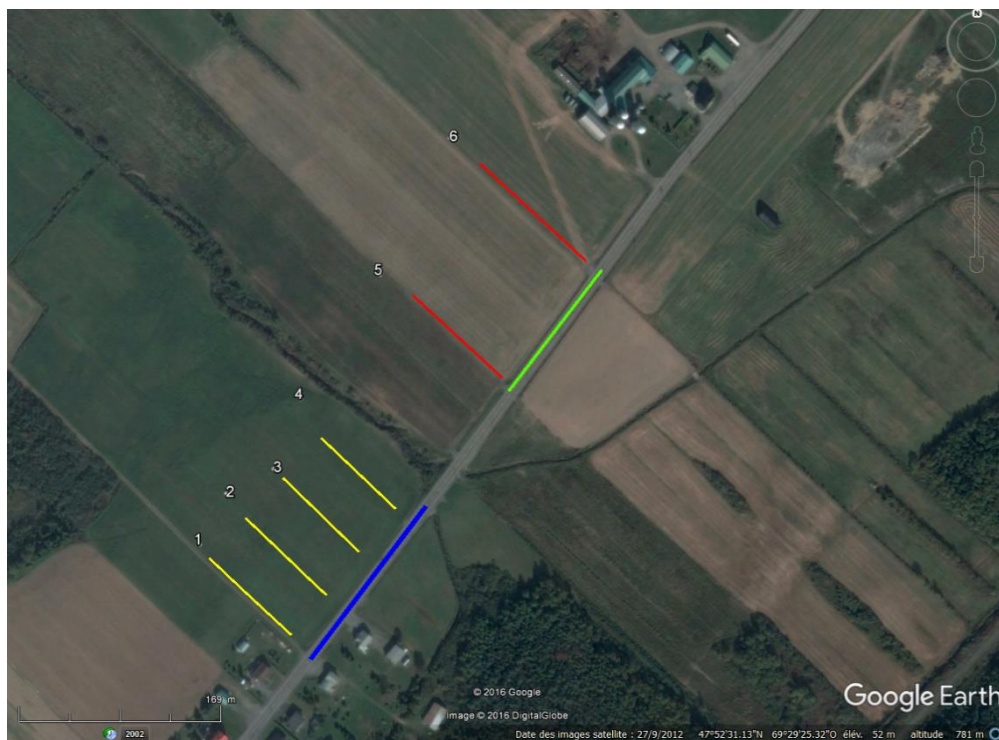


Figure 15 Zone de mesure haies 1, 2, 3, 4 et nouvelle zone témoin haies 5 et 6 recépées

Malgré l'allongement des zones de mesures, les données recueillies à l'hiver 2016-2017 présentent des incohérences imputables au mauvais fonctionnement du système de télémétrie. Par exemple, lors de la période du 12 au 15 décembre 2016, dans la zone haies (14-17), le nombre de passages avec épandeurs actifs ou non (13) ne correspond pas avec ceux où la lame est baissée ou non (12) (tab. 5). De plus, le nombre de passages dans la zone témoin ne correspond pas à celui observé dans les zones protégées par des haies. Ces anomalies nous indiquent que le système de télémétrie n'a pas été étalonné correctement afin de bien tenir compte du début et de la fin des zones étudiées.

**Tableau 5 Relevés d'opérations de déneigement selon différentes périodes
(2016-2017)**

Date d'évènement	Action	Zone 14-17		Zone 17		Zone 1-2-3-4		Zone 10-11-12	
		haie	témoin	haie	témoin	haie	témoin	haie	témoin
12 au 15 décembre 2016	Épandeur actif	2	1	0	0	1	3	2	0
	Épandeur inactif	11	2	8	2	14	2	1	0
	Lame baissée	9	1	8	2	4	3	1	0
	Lame levée	3	2	0	0	11	2	1	0
18 au 21 décembre 2016	Épandeur actif	10	0	1	1	5	1	2	0
	Épandeur inactif	10	2	3	3	16	4	4	3
	Lame baissée	15	1	2	2	16	3	3	3
	Lame levée	5	1	2	2	4	3	3	1
26 au 29 décembre 2016	Épandeur actif	4	2	0	4	3	1	3	1
	Épandeur inactif	8	3	1	4	4	3	1	2
	Lame baissée	4	4	1	4	2	2	0	0
	Lame levée	7	2	1	5	4	2	3	2
30 décembre 2016 au 2 janvier 2017	Épandeur actif	3	3	1	1	2	1	1	1
	Épandeur inactif	7	5	3	4	18	8	4	4
	Lame baissée	5	7	2	1	13	5	3	3
	Lame levée	7	3	2	6	9	4	3	2
3 au 7 janvier 2017	Épandeur actif	9	0	0	5	0	0	1	0
	Épandeur inactif	14	4	1	9	7	1	1	5
	Lame baissée	10	1	0	6	2	1	1	2
	Lame levée	12	3	1	8	5	0	1	3
12 au 15 janvier 2017	Épandeur actif	9	0	3	4	5	0	5	4
	Épandeur inactif	10	2	2	3	16	3	4	6
	Lame baissée	13	2	4	5	5	3	1	2
	Lame levée	6	1	1	3	15	0	4	8
24 au 28 janvier 2017	Épandeur actif	14	7	0	7	4	7	0	0
	Épandeur inactif	35	11	1	9	20	10	13	8
	Lame baissée	15	12	0	7	8	6	4	1
	Lame levée	27	3	1	6	14	10	8	6

3.3 Hiver 2017-2018

Suite à l'échec des deux hivers précédents, nous avons opté pour des mesures directes d'accumulation de neige au champ. Des balises ont été installées le 12 décembre 2017 en aval de 3 haies et dans 2 zones témoins (fig. 16).



Figure 16 Localisation des zones de mesures d'accumulation de neige de janvier à mars 2018

Les balises ont été installées à 2 m, 6 m, 12 m et 18 m des haies, soit des distances respectives de 0,9 H, 2,6 H, 5,2 H, 7,8 H où H est la hauteur de la haie. Les 2 zones témoins sont localisées en plein champ à 40 m de la route, aucun obstacle ne pouvant entraver les vents dominants du sud-ouest. L'évaluation de l'accumulation de neige a été réalisée en mesurant en premier lieu la hauteur initiale de la balise hors du sol avant qu'il y ait un couvert de neige. Les mesures d'accumulation de neige consistaient à mesurer la longueur de balise au-dessus du couvert de neige, en soustrayant cette valeur à la hauteur initiale de la balise on obtenait la hauteur du couvert de neige.



Figure 17 Installation des balises, janvier 2018

Des relevés de la hauteur de neige ont été effectués le 22 janvier, le 12 février et le 15 mars 2018 (fig. 17-18). Les accumulations de neige par les haies 17 nord, 17 sud et 14 atteignent une hauteur maximale de 78, 60 et 68 cm, le 15 mars 2018. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues en témoin. Toutefois, ces hauteurs de neige correspondent seulement au tiers de la hauteur des haies. En hiver 2018, ces haies n'avaient pas encore la porosité recherchée (40 à 50 %) pour une captation maximale de neige. Le recépage effectué au printemps 2018 devrait augmenter la densité des haies et, par conséquent, la quantité de neige interceptée par celles-ci.

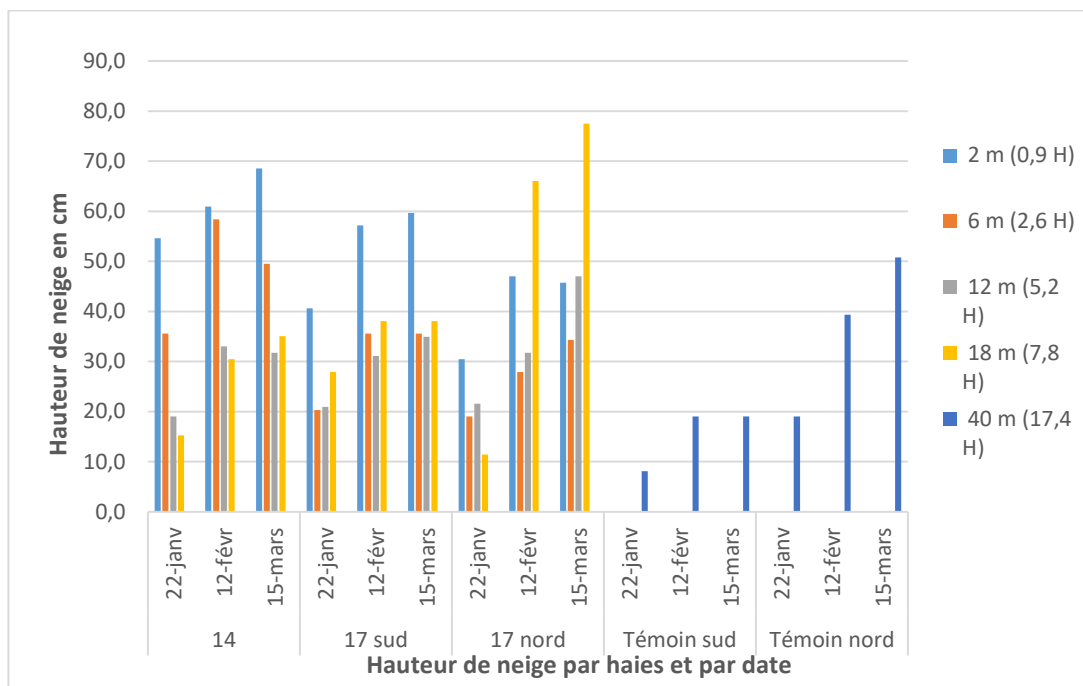


Figure 18 Hauteur de neige accumulée par haie selon la distance de janvier à mars 2018

Pour les sites 14 et 17 sud, plus on est près de la haie (0,9 H et 2,6 H) plus l'accumulation de neige est importante, ceci démontre l'efficacité des haies pour capter la neige. Par contre, le site 17 nord ne suit pas cette tendance, l'accumulation de neige étant maximale à 7,8 H. Une haie mature de peupliers hybrides et d'épinettes blanches située à 60 m en amont de la haie pourrait expliquer cette répartition de la neige (fig. 19).



Figure 19 Haie 17 nord, étalement de la neige et présence de haie mature 15 mars 2018

L'accumulation sur le site témoin nord est plus importante que sur le site témoin sud. Cette couverture de neige plus importante pourrait s'expliquer par la présence d'un banc de neige le long de la route qui agirait comme brise-vent provoquant l'accumulation de neige au champ (fig. 20).



Figure 20 Présence d'un banc de neige en bordure de route près du site témoin nord 15 mars 2018

Comme le montre la photo prise le 22 janvier 2018, la haie 11 capte efficacement la neige (fig. 21). Cette haie, qui a une hauteur de 2 m, est déjà pleine de neige, un passage de souffleuse le long de la haie pourrait aider à la dégager et à lui rendre son efficacité pour le reste de l'hiver. On aurait cependant intérêt à installer des haies qui atteignent une hauteur plus grande afin d'avoir une plus grande efficacité. En effet, plus la hauteur de la haie est importante, plus la capacité d'entreposage de neige est grande. Par exemple, un brise-vent de 1,8 m de hauteur a une capacité d'entreposage de plus du double de celle d'un brise-vent de 1,2 m (Tabler, 1991).



Figure 21 Accumulation de neige par la haie 11, 22 janvier 2018

Le 23 avril 2018, alors qu'il y avait encore de la neige au champ, une visite a permis de prendre des images aériennes à l'aide d'un drone afin d'observer la distribution de la neige à proximité des haies 1 à 4 (fig. 22). L'impact des haies est clairement visible alors que l'on voit une accumulation substantielle de neige près des haies et rien dans les zones sans obstacle. On retrouve une accumulation de neige jusqu'à 18 m (14 H) à l'est des haies. Du côté est, le dépôt de neige, bien que présent, est moins étendu.

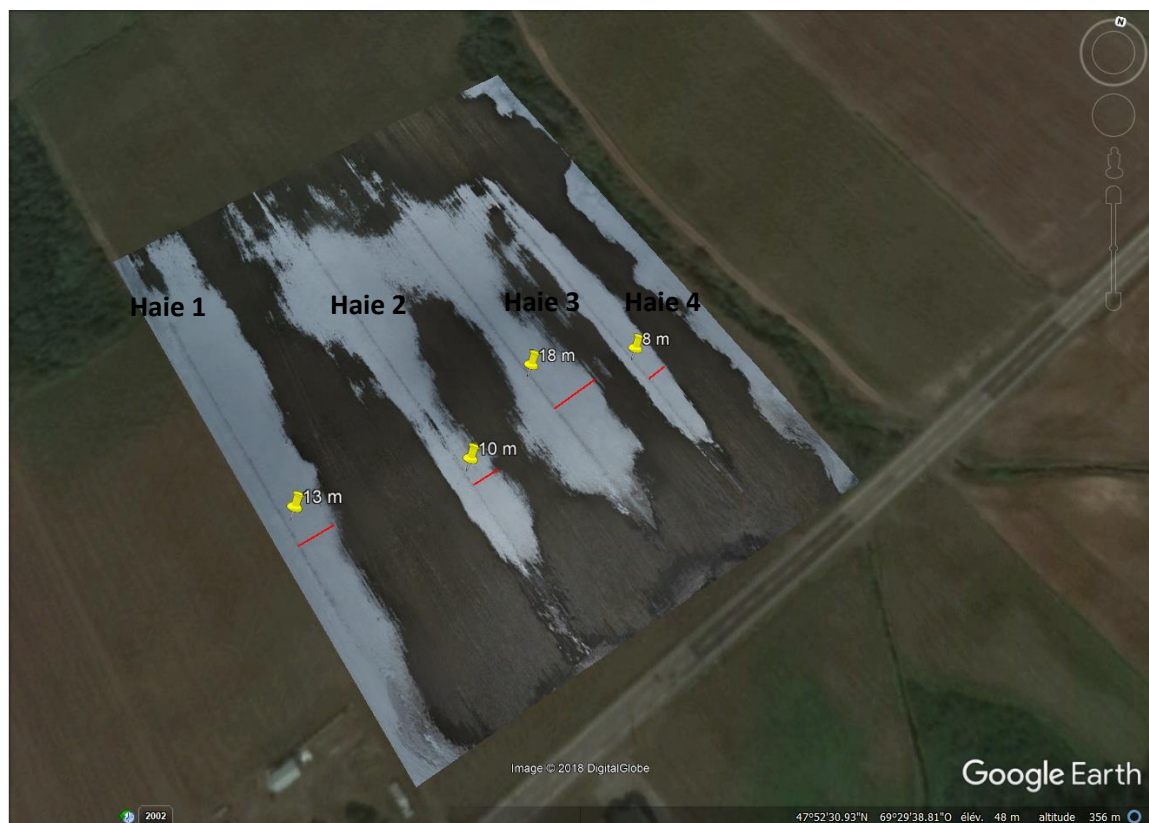


Figure 22 Vue aérienne des haies 1, 2, 3 et 4, 23 avril 2018

4 ÉTAPE 3 : ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ DES HAIES DE SAULES POUR LE PRODUCTEUR AGRICOLE

Ce projet visait à évaluer la rentabilité des haies de saules pour l'entreprise agricole en mesurant les variations de rendements des cultures et les rendements en biomasse des haies. Ces données permettront ensuite d'évaluer la rentabilité économique des haies de saules pour l'entreprise agricole.

4.1 Mesure de l'impact des haies sur les rendements des cultures : étés 2016 et 2017

4.1.1 Méthodologie

En 2016 et 2017, les rendements de foin ont été évalués dans le champ protégé par les haies 1 à 4. Nous avons sélectionné ce site car il présentait la même culture durant les deux années de l'étude et qu'il y avait possibilité d'étudier plus d'une haie dans un même champ. La méthode d'échantillonnage utilisée pour le calcul des rendements respecte les protocoles établis par La Financière agricole (FADQ) dans le cadre du programme d'assurance récolte. Le début et la fin du champ perpendiculaire à la haie brise-vent ne font pas partie de la zone étudiée, afin de ne pas prendre en compte l'effet de bordure (fig. 23). Ainsi, pour le site de la haie 1, la première ligne de prélèvement débute à 30 m du début de la haie, la deuxième se situe à 45 m et la troisième ligne de prélèvement est à 60 m. Sur chacune des lignes, 5 sites sont échantillonnés, le témoin étant situé à 17 H (où H, hauteur de la haie, est égale à 1,5 m) et les autres sites à 2 H, 4 H, 6 H et 8 H.

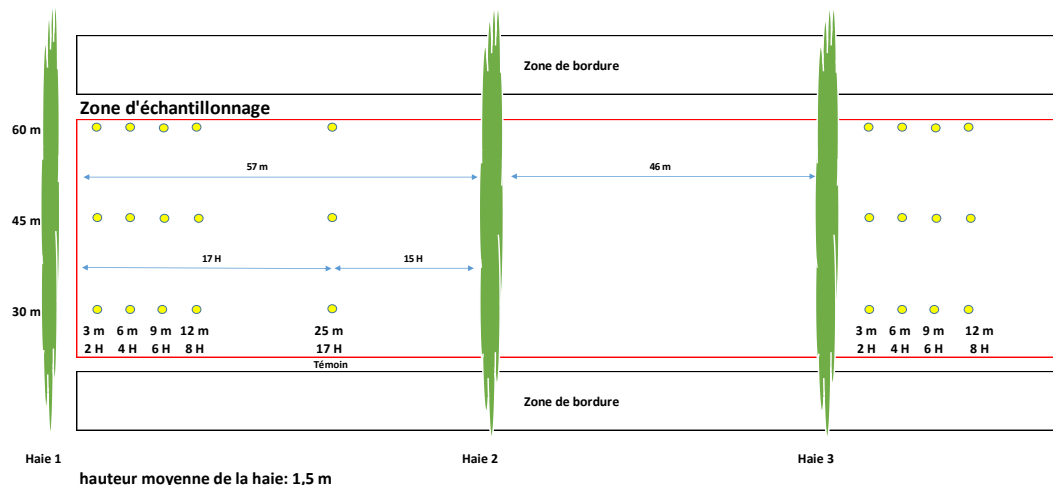


Figure 23 Plan d'échantillonnage pour évaluation des rendements de foin

Le foin est récolté sur une parcelle d'un mètre carré, à l'aide de cisailles, à 10 cm de hauteur soit à la même hauteur que la machinerie du producteur agricole. Le foin récolté est d'abord pesé humide, puis séché à 70 °C, jusqu'à ce que le poids sec soit stabilisé. La zone témoin (située à 25 m (17 H) de la haie 1 a également servi de témoin pour la haie 3. Cette zone témoin se situe à 22 m (15 H) en amont de la haie 2. Elle ne subira pas l'influence de celle-ci, compte tenu de la direction dominante des vents (S.-O.) et de la distance qui la sépare de la haie 2.

En 2016, un échantillonnage a eu lieu le 16 juin, juste avant la première coupe et le 29 août juste avant la deuxième coupe, en aval des haies 1 et 3 (fig. 24).

En 2017, l'échantillonnage de première coupe a eu lieu le 19 juin et l'échantillonnage de deuxième coupe a eu lieu 16 août.

Les rendements ont été calculés de la façon suivante : la moyenne de rendements obtenue à chaque distance échantillonnée de la haie brise-vent a été calculée pour les deux haies étudiées. Chacune des valeurs obtenues a été divisée par le rendement témoin (le rendement sans effet de la haie brise-vent) afin d'obtenir le **rendement relatif**. Une analyse de variance a été pratiquée, en utilisant le logiciel JMP® de SAS®, afin de vérifier s'il y avait des différences significatives entre les traitements.



Figure 24 Sites d'échantillonnage de foin 2016 et 2017

4.1.2 Analyse des résultats

En 2016, le rendement moyen des 27 échantillons mesurés lors de la première coupe est de 2,4 tonnes métriques anhydres par hectare (tab. 6), et il est significativement supérieur au rendement de la coupe 2 (0,5 tma/ha). Le rendement de la deuxième coupe est très faible, ce qui peut s'expliquer par la faible fertilité des sols (annexe D), la présence des mauvaises herbes et l'âge de la prairie. Ces rendements sont inférieurs aux rendements de référence, de La Financière agricole pour la station de Saint-Modeste, qui sont respectivement de 3,5 tma/ha et 1,8 tma/ha pour la première et la deuxième coupe (FADQ, 2016). Les données de la FADQ sont fournies à l'annexe E.

Tableau 6 Rendements en foin (tma/ha) en aval des haies 1 et 3 pour les deux coupes de 2016

Haie	Distance de la haie		Coupe	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Rendement moyen (tma/ha)	Rendement relatif (% du témoin)
	(m)	(H)		30 m	60 m	90 m		
1	3	2	1	2,25	1,97	2,49	2,2	99
			2	0,55	0,35	0,55	0,5	107
			total	2,80	2,32	3,03	2,7	100
1	6	4	1	1,51	1,50	1,24	1,4	63
			2	0,15	0,18	0,17	0,2	37
			total	1,66	1,68	1,41	1,6	58
1	9	6	1	2,14	2,09	2,37	2,2	97
			2	0,41	0,45	0,79	0,6	122
			total	2,55	2,54	3,16	2,7	102
1	12	8	1	3,07	2,03	3,16	2,8	122
			2	0,29	0,23	0,43	0,3	71
			total	3,36	2,26	3,59	3,1	113
1	25	17	1	1,94	1,22	3,61	2,3	100
			2	0,45	0,40	0,50	0,5	100
			total	2,40	1,62	4,10	2,7	100
3	3	2	1	2,28	2,29	3,86	2,8	124
			2	0,28	0,39	0,83	0,5	111
			total	2,56	2,68	4,69	3,3	122
3	6	4	1	3,96	3,82	1,65	3,1	139
			2	0,86	0,77	0,53	0,7	160
			total	4,82	4,59	2,18	3,9	143
3	9	6	1	2,08	2,79	2,75	2,5	112
			2	0,79	0,79	0,45	0,7	150
			total	2,86	3,58	3,20	3,2	119
3	12	8	1	2,85	1,79	3,18	2,6	115
			2	0,67	0,50	0,57	0,6	129
			total	3,53	2,28	3,76	3,2	118
Rendement moyen coupe 1							2,4	
Rendement moyen coupe 2							0,5	

L'analyse de variance ne révèle pas de différence significative selon les répétitions ou la distance de la haie. Cela peut s'expliquer par la grande variabilité entre les rendements mesurés à une même distance de la haie (répétitions), tel que montré au tableau précédent.

En 2017, les rendements moyens de la première et de la deuxième coupe sont respectivement de 2,3 et 0,8 tma/ha (tab. 7). Ces rendements sont inférieurs aux rendements de référence, de La Financière agricole pour la station de Saint-Modeste, qui sont respectivement de 3,5 tma/ha et 1,8 tma/ha pour la première et la deuxième coupe (FADQ, 2017). Les données de la FADQ sont fournies à l'annexe F. Comme en 2016, l'analyse de variance ne révèle pas de différence significative selon les répétitions ou la distance de la haie.

Tableau 7 Rendements en foin (tma/ha) en aval des haies 1 et 3 pour les deux coupes de 2017

Haie	Distance de la haie		Coupe	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Rendement moyen (tma/ha)	Rendement relatif (% du témoin)
	(m)	(H)		30 m	60 m	90 m		
1	3	2	1	2,26	1,44	3,19	2,3	101
			2	0,74	0,37	0,99	0,7	118
			total	3,00	1,82	4,17	3,0	104
1	6	4	1	1,19	1,37	3,57	2,0	90
			2	0,44	0,38	1,10	0,6	107
			total	1,63	1,75	4,66	2,7	94
1	9	6	1	1,58	1,45	3,14	2,1	90
			2	0,85	0,32	1,17	0,8	131
			total	2,43	1,77	4,31	2,8	99
1	12	8	1	2,34	1,90	2,64	2,3	101
			2	0,78	0,68	1,40	1,0	160
			total	3,12	2,59	4,03	3,2	113
1	25	17	1	2,30	1,52	2,99	2,3	100
			2	0,53	0,61	0,65	0,6	100
			total	2,83	2,13	3,64	2,9	100
3	3	2	1	1,16	2,73	2,17	2,0	89
			2	0,41	0,67	0,99	0,7	115
			total	1,57	3,39	3,16	2,7	94
3	6	4	1	2,46	2,83	2,85	2,7	120
			2	0,72	0,64	0,79	0,7	120
			total	3,18	3,47	3,64	3,4	120
3	9	6	1	3,26	2,33	2,28	2,6	116
			2	1,00	0,48	0,75	0,7	124
			total	4,26	2,81	3,03	3,4	117
3	12	8	1	3,39	2,17	2,48	2,7	118
			2	1,32	0,69	0,87	1,0	161
			total	4,71	2,86	3,35	3,6	127
Rendement moyen coupe 1							2,3	
Rendement moyen coupe 2							0,8	

Nous avons additionné les rendements des 4 coupes réalisées en 2016 et 2017 afin de procéder à une analyse statistique globale. L'analyse de variance (tab. 8) ne montre également aucune différence significative entre les haies ou entre les distances ou entre l'interaction haie*distance.

Tableau 8 Résultats d'analyse de variance portant sur les rendements totaux de 2016 et 2017

Source	Nombre de coefficients	Degrés de liberté	Somme des carrés	Rapport F	Prob. > F
haie*distance (m)	4	4	3,55162	0,3081	0,8692
haie	1	1	7,02768	2,4383	0,1341
distance (m)	4	4	10,642647	0,9231	0,4701

On observe une forte variabilité entre les rendements obtenus à chaque distance (fig. 25), ce qui peut expliquer pourquoi on n'observe pas de différence significative entre les résultats.

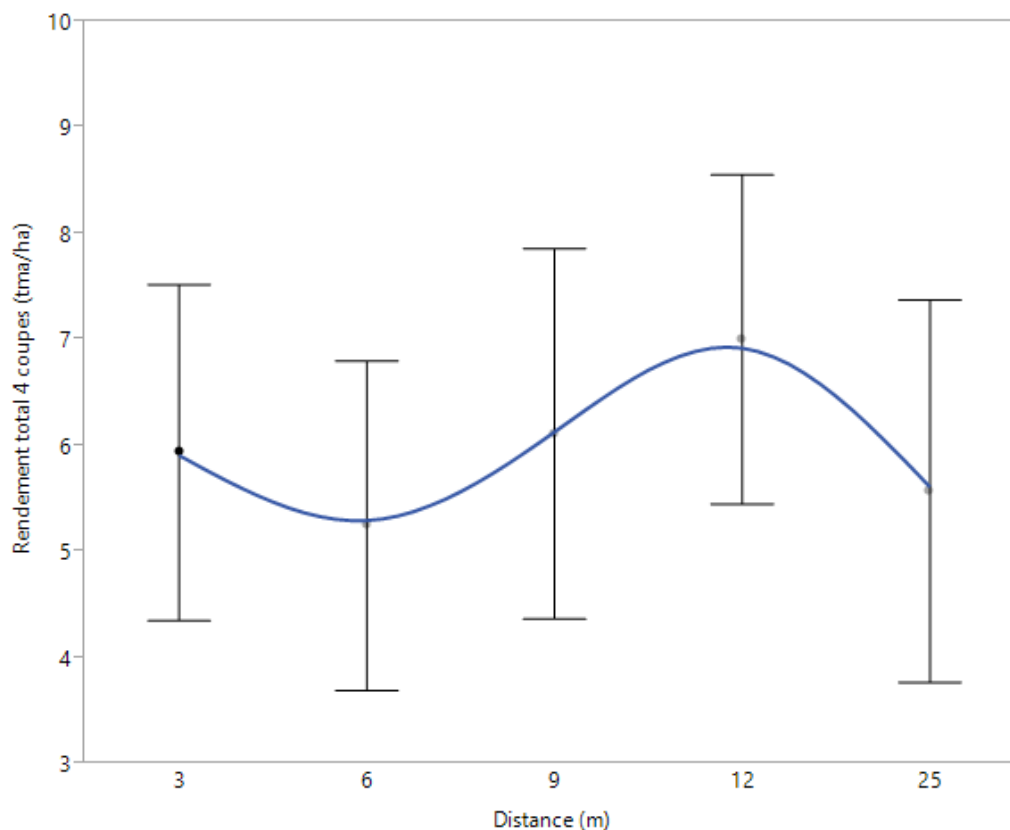


Figure 25 Variation des rendements totaux (haies 1 et 3 confondues) en fonction de la distance de la haie

Les rendements en foin peuvent être affectés par un manque de couverture de neige durant l'hiver, d'où l'intérêt des haies brise-vent. D'ailleurs les résultats de Vézina et Talbot (2010) montrent une augmentation de rendement de 4 % sur 20 H dans le sillon d'une haie brise-vent installée à La Pocatière. Au Lac-Saint-Jean, une étude montre des variations de rendement (sur 14 H) de -9 % (2012), +49 % (2013) et +42 % (2014), dans une culture de foin protégée par une haie brise-vent (Vézina, 2015). Les augmentations de rendement relatées dans cette étude sont liées à la présence d'un couvert neigeux dans la zone protégée alors qu'il y avait peu ou pas de neige dans la zone témoin.

4.2 Mesure des rendements en biomasse de saule

Pour mesurer les rendements en biomasse de saule, 13 des 16 haies ont été coupées au ras du sol (10 cm) en mai 2018 à l'aide d'une débroussailleuse. Les haies 5 et 6 ont été récoltées en décembre 2016 et la haie 14 n'a pas été récoltée car celle-ci a dû être replantée suite à une dérive d'herbicide. Le matériel récolté a été déchiqueté (fig. 26) afin de mesurer le poids humide. Un échantillon a été séché et pesé pour chaque haie afin de déterminer le poids sec.



Figure 26 Déchiquetage et récolte des copeaux de saule, Cacouna, mai 2018

Les rendements cités dans la littérature sont exprimés en tonnes métriques anhydres par hectare et par année (tma/ha/an). Pour calculer les rendements sur une base comparable, nous avons d'abord calculé la superficie occupée par la haie en multipliant la longueur de la haie par la largeur cultivable perdue. Cette dernière a été évaluée à 1,5 m suite à des observations sur le terrain. Le paillis

de plastique, qui a une largeur initiale de 150 cm, est en partie enfoui dans le sol lors de son installation afin d'assurer sa rétention. Il reste environ 90 cm qui apparaît à la surface du sol. En rajoutant 30 cm de chaque côté du paillis qui n'est pas cultivé, on obtient une largeur non cultivée de 150 cm (1,5 m). L'année de la plantation, la perte est plus grande mais graduellement le sol cultivé se rapproche du paillis. (fig. 27) Les saules occupent plus d'espace latéral avec le temps mais la souplesse des tiges ne nuit pas aux opérations culturales en autant que les saules soient rabattus selon un cycle court (3 à 5 ans).



Figure 27 Haie à la plantation (2014) à gauche et suite au recépage (2018) à droite

Dans ce projet, les saules récoltés en mai 2018 ont été rabattus après 4 années de croissance pour toutes les haies, sauf la haie 17 (3 ans).

Les rendements obtenus à Cacouna varient entre 0,64 et 5,35 tma/ha/an (tab. 9). Les meilleurs rendements sont obtenus avec la haie 13 qui poussait dans un sol organique. Les haies 1 à 4 poussaient dans un sol sableux très sec assez pauvre et les étés ont été secs ce qui a conduit à des rendements aussi faibles (comme en témoignent aussi les rendements en foin).

Tableau 9 Rendements en biomasse des haies récoltées en mai 2018 à Cacouna

Haie	Année de plantation	Perte d'espace cultivable (m)	Longueur récoltée (m)	Masse récoltée humide (kg)	Masse récoltée sèche (kg)	Rendement (tma/ha/an)
1	2014	1,5	93	87,5	40,4	0,72
2	2014	1,5	92	77,0	35,5	0,64
3	2014	1,5	87	110,5	51,0	0,98
4	2014	1,5	87	80,0	36,9	0,71
7	2014	1,5	152	540,5	247,9	2,72
8	2014	1,5	51	171,5	79,1	2,58
9	2014	1,5	103	437,5	197,4	3,19
10	2014	1,5	96	191,0	88,3	1,53
11	2014	1,5	80	176,5	81,6	1,70

Gasser et coll. (2013) ont obtenu des rendements de 3,9 à 7,5 tma/ha/an pour des saules en bandes riveraines à Saint-Lambert-de-Lauzon. Schroeder (communication personnelle, 12 décembre 2018) témoigne d'un rendement moyen de 15-17 tma/ha/an pour des bandes riveraines de saules à l'Île-du-Prince-Édouard. Cette moyenne tient compte de 4 coupes (une à tous les trois ans) de la même bande riveraine.

Les rendements de la haie 13 s'inscrivent dans la fourchette des rendements obtenus par Gasser et coll. (2013). Les rendements dans les autres haies sont beaucoup plus faibles, ce qui pourrait s'expliquer par des sols plus pauvres et plus secs.

4.3 Impact économique des haies

Pour calculer l'impact économique de la haie de saules pour l'entreprise agricole, nous avons utilisé un outil développé par Biopterre qui permet d'évaluer l'impact économique de systèmes agroforestiers (www.wbvecan.ca). Nous avons simulé l'implantation d'une haie de saules sur une longueur de 1 km dans un champ de foin. Nous avons supposé une augmentation de rendement en foin de 2,5 % sur 10 fois la hauteur de la haie, basée sur une expérience réalisée au Bas Saint-Laurent (Vézina et Talbot, 2010). Nous avons fixé le prix de la biomasse à 32 \$ la tonne de matière verte, dont 35 % revient à l'entreprise, la récolte étant effectuée à forfait. Une récolte des saules a été effectuée tous les 3 ans, en supposant un rendement de 5 tma/ha/an (rendement de la haie 13). Les coûts d'implantation et d'entretien des haies sont payés par le MTQ.

Dans le tableau 10, la colonne « Améliorations » correspond aux revenus engendrés par la haie, soit les augmentations de rendement dans la culture de foin et les revenus en biomasse. La colonne « Détériorations » correspond aux coûts associés à la perte d'espace cultivable, puisque les coûts d'implantation et d'entretien sont assumés par le MTQ. La « Marge » constitue la différence entre les détériorations et les améliorations. Cette marge, calculée sur une période de 40 ans, a été actualisée en dollars de 2018, afin de tenir compte de l'inflation et des incertitudes économiques. La « Marge actualisée » au bout de 40 ans est de **-251 \$** (tab. 10). Il n'y a donc pas d'avantage économique pour une exploitation agricole d'installer une haie de saules pour protéger une culture de foin, même si les coûts d'implantation et d'entretien sont assumés par le MTQ.

Tableau 10 Marge actualisée, sur une période de 40 ans, liée à l'implantation d'une haie de saules dans un champ de foin à Cacouna, 2014-2018

Période	Améliorations	Détériorations	Marge	Marge actualisée	Marge actualisée cumulative
0-5 ans	175 \$	-496 \$	-321 \$	-287 \$	-287 \$
5-10 ans	242 \$	-225 \$	17 \$	15 \$	-272 \$
10-20 ans	453 \$	-450 \$	3 \$	5 \$	-267 \$
20-40 ans	936 \$	-900 \$	36 \$	16 \$	-251 \$

Dans une autre simulation, nous avons doublé les rendements en biomasse et la marge actualisée cumulative au bout de 40 ans passe de **-251 \$** à 55 \$, ce qui ne représente pas un incitatif alléchant pour l'entreprise agricole.

5 MISE EN ŒUVRE (APPLICATIONS, UTILISATEURS POTENTIELS, ETC.) ET RETOMBÉES, BÉNÉFICES POUR LE MTQ

Nous n'avons pu quantifier l'impact des haies implantées durant ce projet sur les couts d'entretien hivernal des chemins. Nous avons toutefois constaté qu'il y avait une bonne quantité de neige trappée par les haies. Les couts pour déneiger l'accumulation de neige sur une route surpassent de 100 fois les couts d'installation d'une clôture à neige qui trapperait cette neige avant qu'elle n'atteigne la route (Tabler, 1991). De plus, on peut ainsi augmenter la sécurité des usagers en réduisant les accidents causés par la poudrerie. Par exemple, le nombre d'accidents de la route causés par une mauvaise visibilité a été réduit de 70 % sur une section de l'autoroute I-80 aux États-Unis (Tabler, 1991). Finalement, si la neige est trappée avant la route, on réduit les dommages causés par le ruissellement des eaux de fonte à la route.

Les haies de saules implantées dans cette étude ont rapidement atteint 1,3 m, soit la hauteur d'une clôture à neige standard. Dans de bonnes conditions, elles ont doublé et presque triplé cette hauteur au bout de 3 ans. Plus la hauteur de la haie est importante, plus la capacité d'entreposage est grande. Par exemple, un brise-vent de 1,8 m de hauteur a une capacité de plus du double de celle d'un brise-vent de 1,2 m (Tabler, 1991). Outre la hauteur supérieure, une haie est moins couteuse, plus durable et plus esthétique qu'une clôture à neige. De plus, elle contribue à la biodiversité et à la séquestration de carbone. Si on utilise des saules en haies brise-vent, on suggère d'utiliser au moins deux clones différents et de les recéper aux cinq ans.

Cette étude a montré que l'intérêt économique des haies pour l'entreprise agricole est mitigé, même si les couts d'implantation et d'entretien sont défrayés par le MTQ et que l'on suppose des augmentations de rendement en foin de 2,5 % sur 10 H et des rendements en biomasse de saule de 10 tma/ha/an. Cela représente un gain de 55 \$ pour l'entreprise agricole sur une période de 40 ans. Il faut donc prévoir un incitatif financier plus attrayant pour inciter les producteurs agricoles à installer des haies. De plus, il faut s'assurer que les haies ne seront pas coupées par l'entreprise agricole. Une formule intéressante est celle instaurée en 2017 au Lac-Saint-Jean (Benoit Poiraudreau, MAPAQ, communication personnelle, 17 décembre 2018) suite à une entente entre le MAPAQ et le MTQ. Cette formule prévoit :

- Financement de la plantation par le MAPAQ (Prime-Vert volet 1) pour 70 % des dépenses admissibles ;
- Financement de la plantation pour 30 % des dépenses admissibles (indemnisation pour dérangement) par le MTQ ;

- Indemnisation supplémentaire unique équivalente à 90 % de la valeur du fond de terre incluant une servitude entre le ministère des Transports et le propriétaire ;
- Financement de l'entretien sur 25 ans par le ministère des Transports.

Comme l'entente entre les propriétaires de lot est échue avec la fin de ce projet, ceux-ci peuvent demander au MTQ d'enlever les haies. Il faut renouveler l'entente ou en proposer une plus attrayante si on veut conserver les haies et en planter d'autres dans les secteurs non protégés. Pour la protection de la route 191, les haies seraient plus efficaces si elles étaient parallèles à la route. Pour arriver à convaincre les producteurs, la formule énoncée ci-haut devrait être mise en œuvre.

6 CONCLUSION

Ce projet avait comme objectif de vérifier la rentabilité économique d'un réseau de haies brise-vent constituées de saules arbustifs à croissance rapide installés pour protéger des sections de route problématiques à Cacouna. L'étude visait d'abord à vérifier comment le réseau de haies permet d'économiser sur les frais d'entretien hivernal de la route. Comme les haies sont implantées sur des terrains agricoles, le projet visait aussi à déterminer si les haies peuvent apporter un revenu à l'entreprise agricole, via la production de biomasse ou les augmentations de rendement.

Seize haies de saules (principalement *Salix miyabeana*) ont été implantées en 2014 et en 2015 chez 6 entreprises agricoles afin de protéger des sections des routes 191, de l'Église et de l'Avenue du Port à Cacouna. Au total, 4 899 plants ont été mis en terre sur une longueur de 2,9 km. En octobre 2017, la hauteur moyenne des plants variait selon les haies entre 1,5 et 3,6 m et la moyenne de toutes les haies est de 2 m. Les taux de survie des plants varient, selon les haies, entre 53 et 97 % et la moyenne globale est de 80 %. Le grand écart entre les résultats s'expliquerait par la nature et la richesse des sols ainsi que par les dérives d'herbicides. La haie 13, plantée en terre organique, présente les meilleurs résultats, comparables à ceux obtenus avec d'autres haies de saules dans le Bas-Saint-Laurent. En moyenne, la croissance et le taux de survie sont toutefois inférieurs à ce que nous anticipions (1,5 m de croissance en hauteur par an et un taux de survie de 95 %).

La plupart des haies de saules ont été coupées au ras du sol (recépage) en mai 2018 afin de récolter la biomasse. La hauteur moyenne des plants recépés est de 1,9 m en octobre 2018, soit à peine 10 cm de moins que la hauteur moyenne des plants avant recépage. De plus, le recépage des haies a augmenté la densité des haies, ce qui peut avoir un impact positif sur le captage de neige avant la route.

Durant les hivers 2015-2016 et 2016-2017, nous avons effectué des relevés des opérations de déneigement dans des zones protégées par les haies implantées et dans des zones témoins (zone ouverte). Les camions attitrés au déneigement de ces zones étaient munis d'un système de télémétrie permettant d'enregistrer si la lame de déneigement était baissée ou non et si l'épandeur était actif ou non. Les résultats du premier hiver ont été non concluants car le système de télémétrie n'était pas assez précis pour la longueur de la zone étudiée. Durant le deuxième hiver, nous avons augmenté la longueur des zones étudiées, mais ce ne fut pas suffisant pour améliorer la validité des résultats. Durant le troisième hiver, nous avons opté pour des mesures de hauteur de neige dans des zones protégées par des haies. De plus, nous avons survolé les haies à l'aide d'un drone pour visualiser le profil de distribution de neige. Nous avons constaté qu'il y avait une bonne quantité de neige trappée par les haies. Les haies implantées

ont rapidement atteint 1,3 m, soit la hauteur d'une clôture à neige standard. Dans de bonnes conditions, elles ont doublé et presque triplé cette hauteur au bout de 3 ans.

Ce projet visait aussi à évaluer la rentabilité des haies de saules pour l'entreprise agricole en mesurant les variations de rendements des cultures et les rendements en biomasse des haies. En 2016 et 2017, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les rendements dans la zone protégée par les haies et ceux mesurés dans la zone témoin. Les rendements en foin étaient très faibles et très inégaux dans les champs étudiés, ce qui a pu avoir un impact sur les résultats.

Les rendements en biomasse obtenus suite au recépage des saules varient entre 0,64 et 5,35 tma/ha/an selon les haies. Les meilleurs rendements sont obtenus avec la haie 13 qui poussait dans un sol organique. Les haies 1 à 4 poussaient dans un sol sableux très sec assez pauvre et les étés ont été arides ce qui a conduit à des rendements très faibles.

Nous n'avons pu quantifier l'impact des haies implantées durant ce projet sur les coûts d'entretien hivernal des chemins. Toutefois les haies implantées ont rapidement atteint 1,3 m, soit la hauteur d'une clôture à neige standard. Dans de bonnes conditions, elles ont doublé et presque triplé cette hauteur au bout de 3 ans.

En supposant une augmentation de rendement en foin de 2,5 % sur 10 H et des rendements en biomasse de saule de 10 tma/ha/an, il n'y a pas d'avantage économique, sur une période de 40 ans, pour une exploitation agricole d'installer des haies de saules pour protéger une culture de foin, même si les coûts d'implantation et l'entretien sont assumés par le MTQ. Lorsqu'actualisés, les coûts de perte d'espace cultivable engendrés par la présence de la haie excèdent légèrement les revenus liés aux augmentations de rendement et de récolte de biomasse.

Cette étude montre donc que l'intérêt économique des haies pour l'entreprise agricole est mitigé, même si les coûts d'implantation et d'entretien sont défrayés par le MTQ. Il faut donc prévoir un incitatif financier plus attrayant pour inciter les producteurs agricoles à installer des haies en bordure de routes. La formule expérimentée au Lac-Saint-Jean par le MAPAQ et le MTQ depuis 2017 constitue un exemple à suivre, car elle récompense adéquatement l'entreprise agricole tout en assurant la pérennité de la haie.

7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GAMACHE, C. (2014). *Croissance des plantations de saules à St-Paul-de-la-Croix*. Rapport remis aux producteurs. Disponible auprès de l'auteur.

GASSER, M.-O., C. DUFOUR-L'ARRIVÉE, M. GRENIER et M.-H. PERRON (2013). *Bandes végétatives de saule et de graminées en baissières pour réduire les charges polluantes diffuses et produire de la biomasse dédiée*. Rapport final déposé au MAPAQ - Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement), 54 p. et annexes, Québec.

LA FINANCIÈRE AGRICOLE (2016). *Rendements de référence 2016 en assurance récolte*. Direction de l'assurance récolte, mai 2016, 40 p.

LA FINANCIÈRE AGRICOLE (2017). *Rendements de référence 2017 en assurance récolte*. Direction de l'assurance récolte, avril 2017, 41 p.

TABLER, R. D. (1991). *Snow fence guide*. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington DC, 61 p.

VÉZINA, A. (2015). *Impact des haies brise-vent sur le rendement de cultures au Lac-Saint-Jean*. Présentation dans le cadre d'une journée d'information du MAPAQ sur les haies brise-vent, Alma 14 avril 2015, disponible auprès de l'auteur.

VÉZINA, A. (2013). *Récolte d'une bande riveraine de saules pour la production de biomasse*. Présentation effectuée le 21 février 2013 à la rencontre provinciale des CCAE (clubs-conseils en agroenvironnement), 20 ans d'agroenvironnement, Québec, disponible auprès de l'auteur.

VÉZINA, A. (2013). *Évaluation de différentes méthodes de culture de saule en courte rotation pour la production de biomasse*. Rapport de projet, 26 p., disponible auprès de l'auteur.

VÉZINA, A. (2011). *Les haies brise-vent au Québec : Analyse des bénéfices privés et publics*. Présentation effectuée dans le cadre du 36^e congrès de l'Association des biologistes du Québec, 27 et 28 octobre 2011, Boucherville, disponible auprès de www.abq.qc.ca.

VÉZINA, A. et P. TALBOT. (2010). *Impact des haies brise-vent sur le rendement de cultures fourragères et céréalières sur le territoire de la Côte-du-Sud*. Rapport présenté par Biopterre au ministère des Transports du Québec, 45 p.

VOLK, T.A., L.P. ABRAHAMSON, J. MERRIT et T. BAKER. (2004). *Capturing the Snow with Fast Growing Willow Living Snowfences*. Presented Sept. 16, 2004 at ROW 8, Saratoga Springs, NY.

WILLIAMSON, R. et T.A. VOLK. (2010). *Review of Literature on Living Snow Fences*. Task 1-A of the New York State Department of Transportation Research Project C-06-09 "Designing, Developing, and Implementing a Living Snow Fence Program for New York State" (PIN R021.13.881, Research Consortium Contract: No. C030506).

WEBOGRAPHIE

LA FINANCIÈRE AGRICOLE (2016). *Rendements de référence 2016 en assurance récolte*. Direction de l'assurance récolte, mai 2016, 40 p.
<https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2016.pdf>

LA FINANCIÈRE AGRICOLE (2017). *Rendements de référence 2017 en assurance récolte*. Direction de l'assurance récolte, avril 2017, 41 p.
<https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2017.pdf>

ANNEXE A
COPIE D'UNE ENTENTE ENTRE UN PROPRIÉTAIRE DE LOT ET LE
MINISTÈRE DES TRANSPORTS



Protocole d'entente

Projet de recherche : Haies brise-vent multifonctionnelles pour la protection des routes et la production de biomasse

R725.1

Entre :

Ministère des Transports
Centre de services de Cacouna
101, rue de l'Église
Cacouna (Québec) G0L 1G0
Représenté
par : _____

et

Ferme :
Représentée par :
Adresse :
Cadastre : _____
Rang : _____
Lot(s) : _____

Objet :

Le présent projet de recherche vise à étudier l'impact des haies brise-vent multifonctionnelles pour la protection des routes et la production de biomasse. Les haies seront implantées sur des terres cultivées. Le secteur où les haies seront implantées est soumis, en période hivernale, à une problématique sérieuse de poudrerie. Le succès de cette étude repose sur la collaboration des propriétaires de ces terres avec le ministère des Transports.

Durée :

La durée du projet est de trois ans. L'entente débute au printemps 2014 et se termine à la fin de l'été 2017. Au cours des trois années de cette étude, les activités suivantes seront réalisées :

- printemps 2014 : préparation de sol, déroulage du paillis de plastique, implantation des haies
- été 2014 : évaluation de la survie des saules, évaluation du rendement des cultures protégées par les haies si la croissance des saules est suffisante pour avoir un impact
- automne 2014 : fauche en bordure des haies, préparation de sol et déroulage de paillis de plastique sur certains sites n'ayant pu être travaillés au printemps 2014
- hiver 2014-2015 : prise de données sur la route par le MTQ
- printemps 2015 : implantation des haies dont la préparation a été effectuée à l'automne 2014, remplacement des plants n'ayant pas survécu à l'année 2014
- été 2015 : évaluation de la survie des saules, évaluation du rendement des cultures protégées par les haies
- automne 2015 : fauche en bordure des haies
- hiver 2015-2016 : prise de données sur la route par le MTQ
- été 2016 : évaluation de la survie des saules, évaluation du rendement des cultures protégées par les haies
- automne 2016 : fauche en bordure des haies
- hiver 2016-2017 : prise de données sur la route par le MTQ
- été 2017 : évaluation de la survie des saules, évaluation du rendement des cultures protégées par les haies

Engagements :

Dans le cadre de cette entente, le propriétaire des lots s'engage à :

1. permettre l'implantation d'une ou de plusieurs haies, sur sa propriété, localisées à des endroits qui seront déterminés par lui-même et Biopterre (la localisation de la ou des haies figure à l'Annexe 1);
2. ne pas couper, récolter ou enlever de quelque façon que ce soit la ou les haies implantées par le MTQ dans le cadre de ce projet, et ce, pour la durée de cette entente;
3. permettre à Biopterre d'accéder au(x) site(s) étudiés afin de faire l'entretien, le remplacement et de prendre des données de croissance, de survie et de rendement pendant la durée du projet.

Dans le cadre de cette entente, le ministère des Transports, Centre de services de Cacouna s'engage à :

1. défrayer les couts de préparation de sol, de déroulage de paillis de plastique et d'implantation des haies;
2. verser une compensation monétaire qui couvrira les pertes de revenus encourues par la perte d'espace cultivable attribuable à l'espace occupé par la ou les haies, pour la durée de l'étude (le détail du calcul de la compensation est présenté à l'Annexe 2);
3. à la fin de l'étude, si le propriétaire le désire, il pourra conserver les haies et le produit de leur récolte lui appartiendra;
4. à la fin de l'étude, si le propriétaire le réclame, le MTQ, Centre de services de Cacouna devra remettre la ou les parcelles de terrain occupées par les haies dans le même état qu'avant leur implantation.



Signature :

Les parties reconnaissent avoir lu et compris toutes et chacune des clauses du protocole d'entente et que leur signature représente l'expression de leur volonté librement exprimée.

En foi de quoi, elles ont signé comme suit :

Signé à _____ ce _____ jour de _____ 2014

M. Blondin Deschamps, représentant du ministère des Transports, Centre de services de Cacouna

ET

Propriétaire des lots cités dans l'entente

ANNEXE 1 : Localisation des haies de saules



ANNEXE 2

Calcul de l'indemnité pour la perte de revenu associée à la superficie occupée par la ou les haies pour les années 2014, 2015, 2016 et 2017

Données de calcul	longueur (m)	largeur (m)
Haie 6	121	3,00
Haie 7	152	3,00
Haie 8	51	3,00
Haie 9	103	3,00
total	427	3,00
Surface totale occupée (m ²)	1281	
Surface occupée en hectare	0,1281	
Valeur nette de la culture par hectare**	453,00 \$	
Indemnité annuelle accordée en fonction de la surface occupée	58,03 \$	
Indemnité pour 2014-2015-2016 et 2017		232,12 \$
Indemnité de base de 100 \$ par haie pour la durée de l'étude*		400,00 \$
Indemnité totale		632,12 \$

* 100 \$/haie pour la durée du projet

** Calcul basé sur la valeur de location des terres agricoles

Référence : *Enquête 2009 sur les coûts de location des terres agricoles et des érablières au Bas-Saint-Laurent*, RAYMOND, Sylvie, Martin ROUSSEAU, Donald BEAULIEU, MAPAQ, 15 avril 2009.

Prix de location des terres pour la région de La Pocatière, Rivière-Ouelle, Kamouraska :

120 \$/ha → prix au m² → 0,012 \$

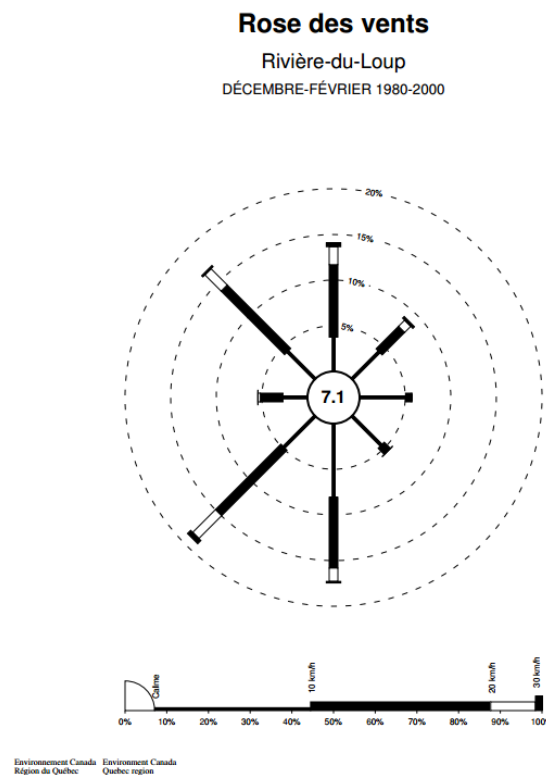
Prix par longueur (m) de haie en supposant 3 m de large → 0,036 \$

Prime de participation au projet (0,10 \$/m)

Montant annuel accordé par mètre de haies → 0,136 \$

Ce montant annuel 0,136 \$/m linéaire correspond à 453 \$/ha

ANNEXE B
DIRECTION DES VENTS À RIVIÈRE-DU-LOUP



Source : http://www.climat-quebec.gc.ca/htdocs/data_fixe/rose_des_vents/RDVG_7056616.pdf

Mois de l'année	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Direction du vent	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↗	↗	↖	↖	↖	↖	↖
Probabilité du vent ≥ 4 Beaufort (%)	8	11	13	12	7	3	2	2	4	6	8	9	7
Vitesse du vent moyenne (kts)	6	7	7	7	6	6	5	5	6	6	6	6	6
Temp. de l'air moyenne (°C)	-10	-9	-3	3	11	16	19	19	14	7	2	-5	5

Source : <https://fr.windfinder.com/windstatistics/riviere-du-loup>

ANNEXE C
MOYENNES MENSUELLES DES PRÉCIPITATIONS DE 1981 À 2010
ET 2014 À 2018

Précipitations totales (mm)				
	mai	juin	juillet	août
Station de St-Arsène 1981 à 2010 Précipitations totales (mm)	93,8	92,6	95,0	94,2
Station de Rivière-du-Loup 2014 Précipitations totales (mm)	56,4	63,0	97,4	38,1
Station de Rivière-du-Loup 2015 Précipitations totales (mm)	107,5	97,7	125,0	62,4
Station de Rivière-du-Loup 2016 Précipitations totales (mm)	126,2	96,3	49,7	56,7
Station de Rivière-du-Loup 2017 Précipitations totales (mm)	99,5	58,0	40,5	90,2
Station de Rivière-du-Loup 2018 Précipitations totales (mm)	52,4	61,1	34,3	21,9

Source :

http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?stnID=5844&lang=f&province=QC&provSubmit=go&page=101&dCode=0

http://climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html?timeframe=2&Prov=QC&StationID=8539&dlyRange=1992-12-02|2014-09-30&Year=2014&Month=6&Day=01

http://climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html?timeframe=2&Prov=QC&StationID=8539&dlyRange=1992-12-02%7C2014-09-30&Year=2014&Month=7&Day=1

http://climat.meteo.gc.ca/climateData/dailydata_f.html?timeframe=2&Prov=QC&StationID=8539&dlyRange=1992-12-02%7C2014-09-30&Year=2014&Month=8&Day=1

ANNEXE D
RÉSULTATS D'ANALYSE DE SOL - CHAMP DES HAIES 1, 2, 3 ET 4

HAIES BRISE-VENT MULTIFONCTIONNELLES POUR LA PROTECTION DES ROUTES ET LA PRODUCTION DE BIOMASSE



Accrédité pour pH, pH tampon, Mat. Org., P, K, Ca, Mg, Al, Mn, Cu, Zn, B (Mehlich) par CEAQ

Date de réception 19-juin-17
Date du rapport 27-juin-17
Numéro du certificat 109948
Numéro d'accréditation 459
Méthode Extraction Mehlich 3
Résultats en base sèche

Provenance

Échantillons

Biopierre
1642, de la ferme
La Pocatière
G0R1Z0
Lucie Laroche

Échantillonné le : 19-juin-2017

Par : Julien Gauthier

Résultats d'analyses				
Numéro	491440	491441		
Identification champ	Témoin	Haie 3		
Culture prévue				
AEI-I-SOL-006	pH	6.2 MB	6.4 B	
AEI-I-SOL-007	pH tampon	6.5 M	6.6 MB	
AEI-I-SOL-005	Mat. Org. %	5.6 R	5.3 R	
kg/ha	P	643 TR	554 TR	
	K	293 R	261 R	
	Ca	4 336 R	5 101 R	
	Mg	134 B	99 MB	
	Al	1 251 R	1 286 R	
	P/Al*	22.9 I	19.2 I	
	Mn	19.4 TR	23.7 TR	
	Cu	2.63 TR	3.89 TR	
	Zn	1.58 R	1.34 P	
	B	0.19 TR	0.21 TP	
ppm	S			
	Fe	273	243	
	% N total			
	C / N			
ppm	N-NH ₄			
ppm	N-NO ₃			

TP=Très pauvre, P=Pauvre, M=Moyen, MB=Moyen bon, B=Bon, R=Riches, TR=Très riches

Physique du sol

Granulométrie	Témoin	Haie 3		
Sable %				
Limon %				
Argile %				
Classe texturale				
Type de sol				

Besoins en chaux IVA 100%				
No laboratoire	491440	491441		
No champ	Témoin	Haie 3		
Culture prévue				
Quantité t/ha	4.5	3.0		
Type de chaux	Magnésienne	Dolomitique		

CEC et saturations en bases				
No champ	Témoin	Haie 3		
CEC (meq/100g)	19.8 MB	19.9 MB		
Base	Marge moy.	Saturation en bases		
K	0.3 - 2.0	1.7 B	1.5 B	
Ca	25 - 60	48.9 B	57.3 B	
Mg	1 - 10	2.5 M	1.8 M	
Total	10 - 90	53.1 B	60.6 B	
Rapport	Marge moy.	Rapports entre les éléments		
K/Mg	0.1 - 0.5	0.67 TR	0.81 TR	
K/Ca	.01 - .06	0.03 B	0.03 B	
Mg/Ca	.03 - 0.25	0.05 M	0.03 M	
Autres résultats				
Na / RAS	ppm <5	14 B	21 B	
Conductivité électrique	mS/cm			

* P/Al = Valeur environnementale critique = limite entre bon et riche. Valeurs agronomiques critiques = limite entre pauvre et moyen, et, entre riche et très riche.

Estimé	Témoin	Haie 3		
Densité estimée g/cm ³	0.88 M	0.97 M		
Porosité estimée %	65.4 M	62.0 M		
Perméabilité estimée				
Conductivité hydraulique cm/h				
Coef. de réserve g eau / 100 g sol				

TP = Très faible, F = Faible, B = Bon, E = Elevé, TE = Très élevé

Remarques

Résultats applicables aux échantillons soumis à l'analyse seulement. Ce document est à l'usage exclusif du client et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire visé, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Ce certificat ne doit pas être reproduit, émis en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Contrôle qualité														
Valeurs attendues: 85 à 115 %					Résultats des échantillons contrôlés passés avec vos échantillons, résultats en % des valeurs attendues pour chacun des paramètres									
pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Cu	Zn	B	S	Na	Fe	N total
98.9	103.4	100.7	103.0	104.2	105.2	103.4	104.8	94.0	100.1	96.5				C.E.

Copyright 2007

1642, de la Ferme, La Pocatière (Québec) G0R 1Z0
Tél. : 418 856.1079 Téléc. : 418 856.6718
Sans frais : 1 866-288-1079
Courriel : agro-enviro-lab@bellnet.ca
www.agro-enviro-lab.com

Michel Champagne, agronome

Maxime Patry, chimiste



ANNEXE E
FOIN – RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2016 PAR TERRITOIRE DE
STATION MÉTÉO

FOIN – RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2016 PAR TERRITOIRE DE STATION MÉTÉO

Note : Vous pouvez visualiser l'emplacement géographique des stations météo en vigueur pour l'année 2016 (cartes par centre de services FADQ) à l'adresse suivante : <http://www.fadq.qc.ca/documents/cartes-thematiques/cartes-regionales/>. Voir la définition des rendements de référence au début de la présente section.

[Retour table matières](#)

Nom des stations météo	Centre ¹ de services	Fauche 1 kg/ha	Fauche 2 kg/ha	Fauche 3 kg/ha	Option superficie kg/ha cultivé
Amqui	21	3 115	1 555	1 313	3 968
Duchénier	21	3 076	1 536	1 297	3 919
Matane	21	2 912	1 454	1 228	3 709
Rimouski	21	3 474	1 735	1 465	4 425
Saint-Fabien	21	3 127	1 561	1 318	3 983
Saint-Gabriel-de-Rimouski	21	3 369	1 682	1 421	4 292
Saint-Joseph-de-Lepage	21	3 463	1 729	1 460	4 411
Saint-Léon-le-Grand	21	3 044	1 520	1 284	3 878
Saint-Ulric-de-Matane	21	3 028	1 512	1 277	3 857
Sayabec	21	3 300	1 648	1 392	4 204
Estcourt	22	3 485	1 740	1 470	4 440
Kamouraska	22	4 253	2 124	1 793	5 418
La Pocatière	22	3 909	1 952	1 648	4 980
Pépinière St-Modeste	22	3 533	1 764	1 490	4 500
Rivière-du-Loup	22	3 737	1 866	1 576	4 760
Saint-Jean-de-Dieu	22	3 005	1 501	1 267	3 828
Saint-Éloi	22	3 298	1 647	1 391	4 201
Témiscouata-sur-le-Lac	22	3 019	1 508	1 273	3 846
Cap-Chat-Est	23	2 214	1 106	934	2 821
Cap-Madeleine	23	2 211	1 104	932	2 816
L'Étang-du-Nord	23	2 185	1 091	922	2 784
New Carlisle	23	2 664	1 330	1 123	3 394
New Richmond	23	2 725	1 361	1 149	3 471
Percé	23	2 294	1 145	967	2 922
Saint-Alexis-de-Matapédia	23	2 908	1 452	1 226	3 705
Chambord	26	2 740	1 368	1 155	3 490
Hébertville	26	4 214	2 104	1 777	5 368
La Baie	26	3 957	1 976	1 669	5 041
Mistook	26	3 652	1 824	1 540	4 652
Normandin	26	3 261	1 628	1 375	4 154
Saguenay	26	3 957	1 976	1 669	5 041
Saint-Ambroise F	26	2 963	1 479	1 249	3 774
Saint-Coeur-de-Marie	26	3 154	1 575	1 330	4 018
Saint-Eugène-d'Argentenay	26	2 887	1 442	1 217	3 678
Saint-Prime	26	2 900	1 448	1 223	3 694
Sainte-Jeanne d'Arc	26	3 183	1 590	1 342	4 055

¹ Une liste des centres de services de La Financière agricole du Québec est disponible à la fin du document.

Source : <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2016.pdf>

ANNEXE F
FOIN - RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2017 PAR TERRITOIRE DE
STATION MÉTÉO

FOIN – RENDEMENTS DE RÉFÉRENCE 2017 PAR TERRITOIRE DE STATION MÉTÉO

Note : Vous pouvez visualiser l'emplacement géographique des stations météo en vigueur pour l'année 2017 (cartes par centre de services FADQ) à l'adresse suivante : <http://www.fadq.qc.ca/documents/cartes-thematiques/cartes-regionales/>. Voir la définition des rendements de référence au début de la présente section.

[Retour table matières](#)

Nom des stations météo	Centre ¹ de services	Fauche 1 kg/ha	Fauche 2 kg/ha	Fauche 3 kg/ha	Option superficie kg/ha cultivé
Amqui	21	3 115	1 555	1 313	3 968
Duchénier	21	3 076	1 536	1 297	3 919
Matane	21	2 912	1 454	1 228	3 709
Rimouski	21	3 474	1 735	1 465	4 425
Saint-Fabien	21	3 127	1 561	1 318	3 983
Saint-Gabriel-de-Rimouski	21	3 369	1 682	1 421	4 292
Saint-Joseph-de-Lepage	21	3 463	1 729	1 460	4 411
Saint-Léon-le-Grand	21	3 044	1 520	1 284	3 878
Saint-Ulric-de-Matane	21	3 028	1 512	1 277	3 857
Sayabec	21	3 300	1 648	1 392	4 204
Estcourt	22	3 485	1 740	1 470	4 440
Kamouraska	22	4 253	2 124	1 793	5 418
La Pocatière	22	3 909	1 952	1 648	4 980
Pépinière St-Modeste	22	3 533	1 764	1 490	4 500
Rivière-du-Loup	22	3 737	1 866	1 576	4 760
Saint-Jean-de-Dieu	22	3 005	1 501	1 267	3 828
Saint-Éloi	22	3 298	1 647	1 391	4 201
Témiscouata-sur-le-Lac	22	3 019	1 508	1 273	3 846
Cap-Chat-Est	23	2 214	1 106	934	2 821
Cap-Madeleine	23	2 211	1 104	932	2 816
Charlo	23	2 817	1 407	1 188	3 588
L'Étang-du-Nord	23	2 185	1 091	922	2 784
New-Carlisle	23	2 664	1 330	1 123	3 394
New-Richmond	23	2 725	1 361	1 149	3 471
Percé	23	2 294	1 145	967	2 922
Saint-Alexis-de-Matapédia	23	2 908	1 452	1 226	3 705
Saint-Godefroi	23	2 664	1 330	1 123	3 394
Chambord	26	2 740	1 368	1 155	3 490
Hébertville	26	4 214	2 104	1 777	5 368
La Baie	26	3 957	1 976	1 669	5 041
Normandin	26	3 261	1 628	1 375	4 154
Saguenay	26	3 957	1 976	1 669	5 041
Saint-Ambroise F	26	2 963	1 479	1 249	3 774
Saint-Coeur-de-Marie	26	3 154	1 575	1 330	4 018
Saint-Eugène-d'Argentenay	26	2 887	1 442	1 217	3 678
Saint-Prime	26	2 900	1 448	1 223	3 694
Sainte-Jeanne d'Arc	26	3 183	1 590	1 342	4 055

¹ Une liste des centres de services de La Financière agricole du Québec est disponible à la fin du document.

Source : <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2017.pdf>