

RAPPORT FINAL

L'AMÉNAGEMENT DE RISBERMES ET DE BAISSIÈRES POUR AUGMENTER L'EFFICACITÉ DES BANDES VÉGÉTATIVES FILTRANTES AUTOUR DES ENCLOS D'HIVERNAGE



Responsable scientifique: Marc-Olivier GASSER, chercheur

Coauteurs : Marie-Ève TREMBLAY, Luc BELZILE, Alicia PATRY

Rapport présenté au Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Date : 11 novembre 2017

Projet IRDA # : 901135

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

En 2017, l'IRDA est reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

PARTENAIRES



L'aménagement de risbermes et de baissières pour augmenter l'efficacité des bandes végétatives filtrantes autour des enclos d'hivernage

Rapport final

Présenté à :

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Programme Prime-Vert volet 3.2 Approche interrégionale

Préparé par :



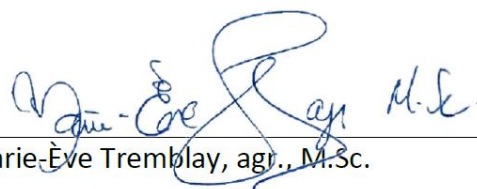
Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

IRDA



Luc Belzile, agr., M.Sc.

IRDA



Marie-Eve Tremblay, agr., M.Sc.

IRDA



Alicia Patry, agr.

IRDA

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIV :

Gasser, M.-O., M.-E Tremblay, L. Belzile et A. Patry. 2017. L'aménagement de risbermes et de baissières pour augmenter l'efficacité des bandes végétatives filtrantes autour des enclos d'hivernage. Rapport final. IRDA. 33 pages + annexes.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Marc-Olivier Gasser, agr., Ph. D., IRDA
- Chargé de projet : Marie-Ève Tremblay, agr., M.Sc., IRDA

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Marc-Olivier Gasser, agr., Ph. D., IRDA
- Marie-Ève Tremblay, agr., M.Sc., IRDA
- Luc Belzile, agr., M.Sc., IRDA
- Alicia Patry, agr., IRDA

COLLABORATEURS

- Frédéric Pelletier, ing. M.Sc., IRDA
- Alain Gagnon, ing., MAPAQ Estrie
- Nathalie Laroche, ing. MAPAQ Québec
- Victor Savoie, ing. MAPAQ Centre-du-Québec
- Nathalie Côté, agr., Les producteurs de bovins du Québec

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Marc-Olivier Gasser

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 650

Courriel : marc-o.gasser@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre son programme Prime-Vert volet 3.2 Approche interrégionale. Des remerciements s'adressent également à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dans le cadre de cette étude. Les auteurs remercient également les participants du projet et reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de l'IRDA et du MAPAQ.

RÉSUMÉ

FAITS SAILLANTS

La bande végétative filtrante (BVF) aménagée en aval des enclos d'hivernage pour bovins de boucherie sert à intercepter les eaux contaminées et retenir les sédiments, les nutriments et autres éléments polluants contenus dans ces eaux. L'inclusion de baissières dans cette bande végétative filtrante vise à allonger les parcours de l'eau, maximiser son infiltration et augmenter l'absorption des éléments contaminants par le sol et la végétation. Un dispositif expérimental mis en place à la station de Saint-Lambert-de-Lauzon a permis d'évaluer la capacité d'épuration de différentes configurations de baissières plantées en espèce arbustive (saule) ou en graminée pérenne (alpiste roseau). Suite au démarrage des essais de 2011 à 2013, l'aménagement d'une baissière avait réduit de 37 % le ruissellement dans la bande d'alpiste, tandis que l'aménagement de cinq plus petites baissières dans autant de rangées de saule avait réduit le ruissellement de 46 %. Les baissières avaient également réduit de plus de la moitié les charges de N et P par rapport aux bandes végétatives témoins. La réflexion sur la façon d'aménager et de gérer de telles baissières à la ferme devait être approfondie. Le but de ce projet consistait à poursuivre l'acquisition de données concernant l'efficacité de ces baissières dans un contexte de végétation bien établie et à transférer ces résultats dans un feuillet technique par des propositions d'aménagement de baissières réalisables à la ferme dans les BVFs. L'acquisition de données s'est poursuivie de l'hiver 2013 à l'hiver 2016. En moyenne annuellement, la présence d'une seule baissière ou de cinq petites baissières a réduit de plus de la moitié le ruissellement et les charges de la plupart des éléments nutritifs mesurés à la sortie des BVFs. Par exemple, la présence d'une baissière et de cinq petites baissières ont réduit respectivement de 200 et 224 mm les volumes d'eau ruisselés à la sortie de ces BVFs par rapport aux BVFs sans baissière qui en moyenne généraient 348 mm de ruissellement. La présence d'une baissière a réduit selon l'année les charges en N total dissous de 35 à 72 %, tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 56 à 86 %. La présence d'une baissière a réduit selon l'année les charges en P total de 35 à 88 %, tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 80 à 94 %. Les résultats ont été présentés à un comité consultatif sur l'aménagement des enclos d'hivernage et deux scénarios d'aménagements de baissières ont été retenus et décrits dans un feuillet technique. L'aménagement d'une baissière et risberme en alpiste-roseau en amont de la bande végétative filtrante, ou d'une cascade de plusieurs petites baissières et de billons en saule présenteraient les meilleures perspectives en termes économiques et d'efficacité pour l'atténuation des charges contaminantes dans la bande végétative filtrante.

OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Le projet consistait dans un premier volet à poursuivre l'acquisition de connaissances sur le pouvoir épurateur des différentes baissières aménagées dans les bandes végétatives filtrantes (BVF) en conditions expérimentales à Saint-Lambert-de-Lauzon. Le site était en opération depuis 2011 et le présent projet permettait de cumuler l'information de l'hiver 2013 à la fin de la saison végétative de 2016 dans des BVFs matures. Des applications massives et répétées d'effluents d'élevage en amont des BVFs ont été réalisées jusqu'à l'automne 2015. Les mesures de la qualité des eaux de surface, de la productivité des bandes végétatives et de l'état de fertilité des sols se sont poursuivies jusqu'à la fin de la saison végétative de 2016. Le deuxième volet consistait à élaborer avec un comité consultatif des propositions d'aménagements de risbermes et de baissières à prévoir dans les bandes

végétatives filtrantes et produire un feuillet technique résumant ces propositions. Le comité consultatif était composé de trois membres de l'équipe de référence pour les aménagements alternatifs en production bovine du MAPAQ (Alain Gagnon, ing. Estrie; Nathalie Laroche, ing. Central; Victor Savoie, ing. Centre-du-Québec), d'une analyste des Producteurs de bovins du Québec (Nathalie Côté, agr.) et de chercheurs de l'IRDA impliqués dans le développement d'aménagements alternatifs (F. Pelletier, ing. M.Sc., L. Belzile, agr. M.Sc.). Le comité a reçu et évalué des propositions d'aménagement et a proposé des aménagements plus réalisables et efficaces à l'échelle des producteurs. Ces aménagements seraient toutefois à adapter en fonction des conditions locales. Différentes options ont été considérées, entre autres le dimensionnement des réservoirs en fonction des volumes d'eau et de la durée des précipitations, des mécanismes de redistribution des eaux emmagasinées, la gestion de la végétation sur les risbermes et dans les baissières et finalement les coûts et les gains escomptés.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Le projet aura révélé le potentiel des aménagements de baissières et de risbermes dans les bandes végétatives filtrantes arrivées à maturité, pour réduire les charges contaminantes et produire de la biomasse à valoriser comme litière. Sans pour autant garantir une étanchéité parfaite du système, ces aménagements de baissières pourraient réduire de près de 50 % les volumes d'eau ruisselés et les charges contaminantes à la sortie des enclos d'hivernage, lorsqu'ils se produisent. Ils permettent ainsi de réduire le risque. L'augmentation de la productivité de l'alpiste et du saule dans les baissières n'a pas été démontrée statistiquement, mais les tendances observées laissent entrevoir des conditions de croissances qui s'améliorent à mesure que les charges contaminantes s'accumulent dans la baissière, plutôt qu'une baisse de productivité. En présence ou non de baissière, le saule a particulièrement bénéficié d'un apport constant de nutriments et d'eau dans la bande végétative filtrante. Sa production annuelle est passée de 4 tm/ha en 2012, à 19 tm /ha en 2014 et à 25 tm/ha en 2016 pour une production annuelle moyenne de 16 tm MS/ha sur 6 ans. L'adoption d'une telle pratique dépendra des bénéfices que les producteurs pourront y retirer et le potentiel de produire davantage de biomasse dédiée dans les baissières nous apparaît prometteur.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

Deux solutions de baissières aménagées dans des bandes végétatives filtrantes ont été mises de l'avant dans une fiche technique adressée aux producteurs. La première apparaissait aux yeux du comité consultatif la plus réaliste, soit l'aménagement d'une grande baissière semée en alpiste roseau en amont de la bande végétative filtrante. La seconde plus hypothétique, dépendrait de l'intérêt du producteur à produire des copeaux avec le saule, soit pour de la litière, et de sa capacité à mécaniser les opérations de récoltes sur une succession de billons et de baissières intercalés de 1,85 m (six pieds) et suivant les courbes de niveau à la sortie de l'enclos d'hivernage. Le saule serait cultivé à mi-hauteur sur le côté amont du billon et des ouvertures seraient pratiquées en alternance à l'extrémité des billons de façon à allonger le parcours de l'eau, le long des billons.

Malgré que les bandes végétatives filtrantes aménagées avec des baissières aient été en mesure de réduire substantiellement le ruissellement et les charges, soit plus de la moitié des charges sans baissières, elles n'ont pas été en mesure de réduire à zéro ces charges en nutriments. Par exemple, les pertes en phosphore à la sortie des BVFs sont demeurées trop importantes pour respecter le critère retenu pour la protection de la vie aquatique. Toutefois, l'aménagement de baissières dans la BVFs offre l'opportunité de canaliser l'eau vers des avaloirs et

pourraient être munis de filtres passifs capables de fixer le phosphore pour filtrer davantage les eaux encore trop chargées. Des travaux de recherche seraient encore nécessaires pour démontrer la validité et la faisabilité d'un tel système de filtration additionnel.

ACTIVITÉS DE DIFFUSION ET DE TRANSFERT AUX UTILISATEURS

Journées portes-ouvertes et fiches techniques

1. Gasser, M.-O. 2015. Bandes végétatives filtrantes et baissières Présentation à la table sectorielle du MAPAQ. Saint-Lambert de Lauzon. 14 août.
2. Gasser, M.-O. 2015. Bandes végétatives filtrantes et baissières. Présentation aux étudiants de 1^{er} cycle de l'Université Laval. Saint-Lambert de Lauzon. 3 octobre.
3. Gasser, M.-O. 2016. Bandes végétatives filtrantes et baissières. Présentation aux étudiants de 1^{er} cycle de l'Université Laval. Saint-Lambert de Lauzon. 3 octobre.
4. M.-O. Gasser. 2016. Présentation des résultats sur les baissières au comité Enclos D'hivernage du MAPAQ. Saint-Lambert-De-Lauzon. 7 nov.
5. Gasser, M.-O., L. Belzile, M.-E. Tremblay et A. Patry. 2017. Des risbermes et des baissières pour augmenter l'efficacité des bandes végétatives filtrantes à la sortie des enclos d'hivernage. Fiche technique. IRDA.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	i
Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
1 Introduction	1
2 Objectifs du projet	2
3 Matériel et méthodes	3
3.1 Poursuite des mesures en parcelles expérimentales.....	3
3.1.1 Dispositif expérimental	3
3.1.2 Paramètres mesurés	4
3.1.3 Traitements statistiques.....	6
3.2 Transfert des résultats à l'échelle de la ferme.....	6
4 Résultats.....	7
4.1 Apports en nutriments dans la prairie en amont des bandes végétatives filtrantes	7
4.2 Productivité de la bande végétative filtrante et exportations de nutriments.....	9
4.3 Évolution des concentrations de nutriments dans le sol des baissières	12
4.4 Volume et qualité de l'eau ruisselée à la sortie des bandes végétatives filtrantes.....	15
4.5 Transposition des résultats à l'échelle d'un enclos d'hivernage pour un élevage de vaches de boucherie	22
4.5.1 Baissière unique avec risberme (Scénario 1)	23
4.5.2 Petites baissières multiples avec billons (Scénario 2)	23
4.5.3 Réduction de charges en nutriments escomptées pour un enclos d'hivernage de 60 vaches-veau	24
5 Analyse économique.....	25
5.1 Méthode.....	25
5.1.1 Valeur économique des cultures.....	26
5.1.2 Coûts.....	26
5.1.3 Actualisation.....	26
5.2 Résultats.....	27
5.2.1 Baissière d'alpiste avec une risberme	27

5.2.2	Baissières de saule avec billons.....	28
5.3	Discussion.....	29
6	Conclusion.....	30
	Références.....	32
	Annexe 1.....	34
	Annexe 2.....	38
	Annexe 3.....	40
	Annexe 4.....	41
	Annexe 5.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Apports en nutriments réalisés avec les épandages de lisier de porc et de bovins pour simuler des charges en amont des bandes végétatives filtrantes.	7
Tableau 2 : Analyse de variance sur le rendement moyen annuel (sur 6 ans) en biomasse de l’alpiste et du saule et les quantités d’éléments exportés en fonction des types de baissières	9
Tableau 3 : Analyse de variance sur l’évolution des propriétés du sol de 2012 à 2106.....	13
Tableau 4 : Analyse de variance sur le ruissellement et les charges d’éléments produits à la sortie des BVFs de nov. 2012 à nov. 2106	16
Tableau 5 : Analyse de variance sur les concentrations moyennes pondérées d’éléments produites à la sortie des BVFs de nov. 2012 à nov. 2106.....	17
Tableau 6 : Ruissellement, charges et concentrations moyennes pondérées des éléments nutritifs produits à la sortie des cinq BVFs à l’étude.....	21
Tableau 7 : Réduction annuelle du ruissellement et des charges en éléments nutritifs escomptés à la sortie des BVFs en présence d’une ou de six plus petites baissières.....	24
Tableau 8 : Description des scénarios.	25
Tableau 9 : Ventilation des coûts d’implantation et d’opération de l’aménagement du scénario 1.	27
Tableau 10 : Marge actualisée nette de l’aménagement du scénario 1	27
Tableau 11 : Ventilation des coûts d’implantation et d’opération de l’aménagement du scénario 2.	28
Tableau 12 : Marge actualisée nette de l’aménagement du scénario 2.	28
Tableau 13 : Concentrations moyennes en éléments de l’alpiste roseau et du saule dans les bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.....	38
Tableau 14 : Rendements et exportations en éléments de l’alpiste roseau et du saule dans les bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.	38
Tableau 15 : Rendements et exportations bisannuels de l’alpiste roseau et du saule dans les différentes bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.	39
Tableau 16 : Analyses de sol dans les bandes végétatives filtrantes en 2012 et 2016.	40
Tableau 17 : Ruissellement (mm) et charges en nutriments (g/parcelle) à la sortie des bandes végétatives filtrantes de 2013 à 2016.....	41
Tableau 18 Concentrations moyennes pondérées des nutriments (mg/litre) à la sortie des bandes végétatives filtrantes de 2013 à 2016.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aménagement d'une baissière unique pour cinq rangées de saule (Saule/1) (a) et de cinq baissières pour cinq rangées de saule (Saule/5) (b).....	3
Figure 4 : Productivité annuelle (a) et cumulée (b) de l'alpiste et du saule cultivés dans différentes configurations de baissières	10
Figure 5 : Distribution spatiale des rendements du saule en 2014 (a) et 2016 (b) en fonction de la position de la rangée de saule de l'amont (1) à l'aval (5) de la BVF.	10
Figure 6 : Exportations cumulées de N (a), P (b), K (c) et Ca (d) dans la biomasse de l'alpiste et du saule cultivés dans différents aménagements avec et sans baissière.	11
Figure 7 : Interactions Position-Année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.	14
Figure 8 : Comparaison Alpiste vs Saule en fonction de la position et de l'année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.....	14
Figure 9 : Comparaison Alpiste vs Saule en fonction de l'année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.	15
Figure 10 : Volumes d'eau ruisselés à la sortie des BVFs d'alpiste de saule avec ou sans baissière....	18
Figure 11 : Volumes d'eau ruisselés moyens à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction du ruissellement engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).	18
Figure 12 : Charges en N total dissous à la sortie des BVFs d'alpiste ou de saule avec ou sans baissière.....	19
Figure 13 : Charges en N total dissous ruisselées à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction de la charge engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).	19
Figure 14 : Charges en P total à la sortie des différentes BVFs d'alpiste ou de saule avec ou sans baissière.	20
Figure 15 : Charges en P total ruisselées à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction de la charge engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).	20
Figure 16 : Emplacement de la baissière et risberme dans la BVF à la sortie de l'enclos d'hivernage	22
Figure 18 : Six baissières/billons en cascade	23

1 INTRODUCTION

La bande végétative filtrante aménagée en aval des enclos d'hivernage pour bovins de boucherie sert à intercepter les eaux contaminées et retenir les sédiments, les nutriments et autres éléments polluants contenus dans ces eaux (Côté et al., 2014; FPBQ, 1999). L'inclusion de risbermes et de baissières (dépression peu profonde retenant temporairement l'eau ruisselée) dans ces bandes végétatives filtrantes pourrait constituer un moyen efficace pour augmenter le captage et la filtration des charges polluantes par ces bandes végétatives (Yu et al., 2001). En effet, l'eau ruisselée, captée par la baissière, s'infiltre davantage dans un sol bien pourvu d'un système racinaire dense. Un dispositif récemment mis en place à la station expérimentale de l'IRDA à Saint-Lambert-de-Lauzon a permis d'évaluer la capacité d'épuration de différentes configurations de baissières plantées en espèce arbustive (saule) ou en graminée pérenne (alpiste roseau) (Gasser et al., 2014). La capacité des baissières à réduire le ruissellement et le mouvement des charges contaminantes a pu être démontrée trois ans seulement après l'installation de la culture arbustive et de la prairie de graminée. Après ce premier cycle de récolte (3 ans), l'aménagement d'une baissière a réduit de 37 % les volumes d'eau ruisselées dans la bande d'alpiste, tandis que l'aménagement de cinq plus petites baissières dans autant de rangées de saule a réduit le ruissellement de 46 %. Les baissières ont également réduit de plus de la moitié les charges de N et P par rapport aux bandes végétatives témoins. Les charges en azote dans l'eau de ruissellement étaient toutefois relativement bien contrôlées. La présence d'au moins une baissière réduisait le ruissellement et améliorait les capacités de rétention, de filtration et de traitement des bandes enherbées de graminées comme l'alpiste. Plusieurs charges contaminantes ont été affectées à la baisse par la présence de cette baissière dans l'alpiste, dont les concentrations moyennes pondérées de MES, N total dissous, N-NH₄, P total et K. Les concentrations moyennes pondérées en N total dissous dépassaient légèrement le critère de qualité de l'eau de 1,5 mg/L, mais celles de N-NO₃ étaient acceptables par rapport à son critère de 10 mg/L. Les concentrations moyennes pondérées en P dans l'eau ruisselée demeuraient toutefois relativement élevées à la sortie des baissières de ces bandes végétatives nouvellement implantées. De fait, les concentrations moyennes pondérées en P total (largement sous forme d'orthophosphates) ont excédé de 50 à 150 fois le critère généralement reconnu pour la protection de la vie aquatique dans les eaux de surface. De fait, la biomasse dédiée produite dans les bandes végétatives a peu contribué à l'exportation de phosphore, même si les prélèvements au niveau des parties racinaires et des collets non récoltés n'ont pas été comptabilisés. Toutefois, après deux ans, l'alpiste roseau avait exporté en moyenne deux fois plus de P (15,4 vs 8,3 kg P/ha) que le saule. Des exportations relativement modestes d'environ 70 kg N/ha avaient aussi été réalisées avec la récolte des deux cultures dédiées. Au niveau du sol, l'alpiste avait davantage réduit par rapport au saule, les teneurs en éléments solubles et mobiles comme N-NO₃ et Na extrait à la solution Mehlich-3 (M3), de même que K-M3, P-M3 et Mg-M3 considérés moins mobiles. Les prélèvements et exportations plus importants de ces éléments dans la biomasse de l'alpiste par rapport au saule étaient probablement responsables de ces plus faibles teneurs mesurées dans le sol. Or, l'implantation de ces cultures dédiées dans l'essai était relativement récente et des cycles additionnels de ces cultures auraient été souhaitables pour mieux comptabiliser leur contribution à la réduction des charges en phosphore.

Les résultats de ces premières années d'essai avaient aussi démontré que l'aménagement de baissières était relativement efficace pour réduire le ruissellement et les charges, mais que le type de baissières idéal semblait dépendre de la culture dédiée. Ainsi, après deux ans d'implantation, la prairie d'alpiste dans une seule grande

baissière semblait plus efficace pour réduire le ruissellement et les charges que l'implantation de saule en rangées dans le même type de baissière. Le sol est demeuré à nu plus longtemps sous le saule au début de l'implantation, et le couvert végétal ainsi que la couverture de résidus étaient différents de l'automne au printemps suivant, soit un chaume dense sous l'alpiste ou un paillis généré par la chute des feuilles de saule. Néanmoins, l'aménagement d'une baissière dans l'alpiste roseau a permis de réduire de 37 % le ruissellement. L'aménagement de cinq petites baissières de saule a quant à lui réduit le ruissellement de 46 % par rapport à la bande sans baissière. Ces réductions de ruissellement ont eu un impact important sur la qualité de l'eau en réduisant les charges cumulées de MES, N total dissous, N-NH₄, N-NO₃, P total, K, Ca, Mg, Na, B, Cu et Mn. L'aménagement de baissières a également réduit les concentrations moyennes pondérées des MES, N total dissous, N-NH₄, P total, K, Mg, B, Cu et Mn.

Vu l'installation relativement récente des bandes végétatives et la courte durée de l'essai, il était pertinent de poursuivre l'évaluation de la performance de ces baissières sur un autre cycle de récolte, soit de 2015 à 2016 afin d'une part, de bien évaluer le potentiel de production et de prélèvement des plantes dédiées et, d'autre part, de mieux comprendre le comportement et le cheminement de l'eau et des nutriments dans les bandes végétatives aménagées avec des baissières et risbermes.

Dans l'optique de transférer ces résultats et d'adapter ces aménagements de baissières à la réalité des enclos d'hivernage chez les producteurs, plusieurs éléments demeuraient toutefois à préciser soit la conception et le dimensionnement de ces baissières en fonction du modelé du terrain, du type de sol et son hydrologie, la mécanisation des opérations pour la création des baissières, la disposition de drains et d'exutoires, le semis et la récolte des bandes végétatives, etc.

2 OBJECTIFS DU PROJET

Le projet consistait à (1) poursuivre l'acquisition de données et de connaissances sur l'efficacité de divers aménagements de baissières dans des bandes végétatives filtrantes matures (après 4 années d'installation), pour capter et filtrer le ruissellement de charges contaminantes provenant de l'amont, (2) produire une analyse technico-économique des coûts-bénéfices reliés à de tels aménagements et (3) à développer avec les intervenants du milieu des propositions d'aménagement de baissières réalisables chez les producteurs.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 POURSUITE DES MESURES EN PARCELLES EXPÉRIMENTALES

3.1.1 Dispositif expérimental

Un dispositif expérimental comprenant 15 parcelles instrumentées pour mesurer le ruissellement de surface a été réaménagé en 2010 à la station expérimentale de l'IRDA à Saint-Lambert-de-Lauzon pour comparer le ruissellement à la sortie de cinq aménagements de bandes végétatives filtrantes: une prairie d'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.) sans baissière comme bande végétative témoin (1- Alpiste témoin), une prairie d'alpiste roseau aménagée dans une baissière (2- Alpiste/1), une bande végétative de 5 allées de saule (*Salix Myabeana* Clone SX64) sans baissière (3-Saule sb), une bande végétative de 5 allées de saule en baissière (4- Saule/1) , et finalement une bande végétative de 5 allées de saule intercalées d'autant de petites baissières (5- Saule/5) (Gasser et al., 2014). La Figure 1 illustre les deux types de baissières aménagées. La baissière a été formée en creusant une partie de la pente (section en brun pâle) et en redéposant la terre en aval pour former une risberme (section en jaune).

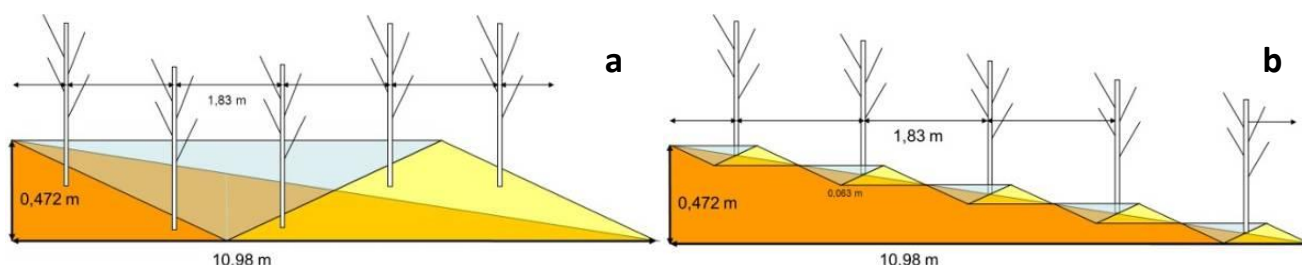


Figure 1 : Aménagement d'une baissière unique pour cinq rangées de saule (Saule/1) (a) et de cinq baissières pour cinq rangées de saule (Saule/5) (b)

Les cinq traitements ont été répétés trois fois dans un dispositif en blocs aléatoires. Chaque parcelle a été instrumentée pour capter, mesurer et échantillonner les eaux de ruissellement à sa sortie (Figure 2). Un premier bilan de l'efficacité de ces aménagements a été présenté dans un rapport couvrant la période de l'automne 2011 à l'été 2013, soit après deux années de récolte d'alpiste roseau ou un premier cycle de récolte de saule sur deux ans (Gasser et al., 2014). Les charges produites en amont des bandes végétatives ont été simulées avec des apports répétés de lisier de porc à doses massives. Les charges appliquées de N et de P étaient quelque peu plus élevées, mais comparables à des charges typiques provenant d'un élevage de vache-veau en enclos d'hivernage de faible densité, selon les valeurs références publiées par le CRAAQ (2003). Les mesures de ruissellement réalisées durant l'année ont permis de déterminer la capacité filtrante de tels aménagements (en phase d'implantation) à la fois au moment du dégel printanier ou en pleine période de croissance. Les mesures ont également porté sur la productivité des cultures dans ces aménagements et des exportations en éléments fertilisants, sur l'accumulation de ces éléments dans le sol des baissières et sur les concentrations dans l'eau du sol à la sortie des baissières.

Le présent projet visait à poursuivre l'acquisition de données et de connaissances de ces aménagements de baissières de l'été 2013 à la fin de 2016 dans des cultures plus matures de saule et d'alpiste, soit jusqu'à 6 ans après leur implantation en juin 2010. Des épandages de lisiers de porc et de bovins ont été réalisés en amont des bandes végétatives filtrantes à plusieurs reprises en 2013, 2014 et 2015 pour continuer de simuler des charges excessives de nutriments en provenance d'enclos d'hivernage, comme dans la première phase de l'étude de 2011 à 2013 (Gasser et al., 2014).

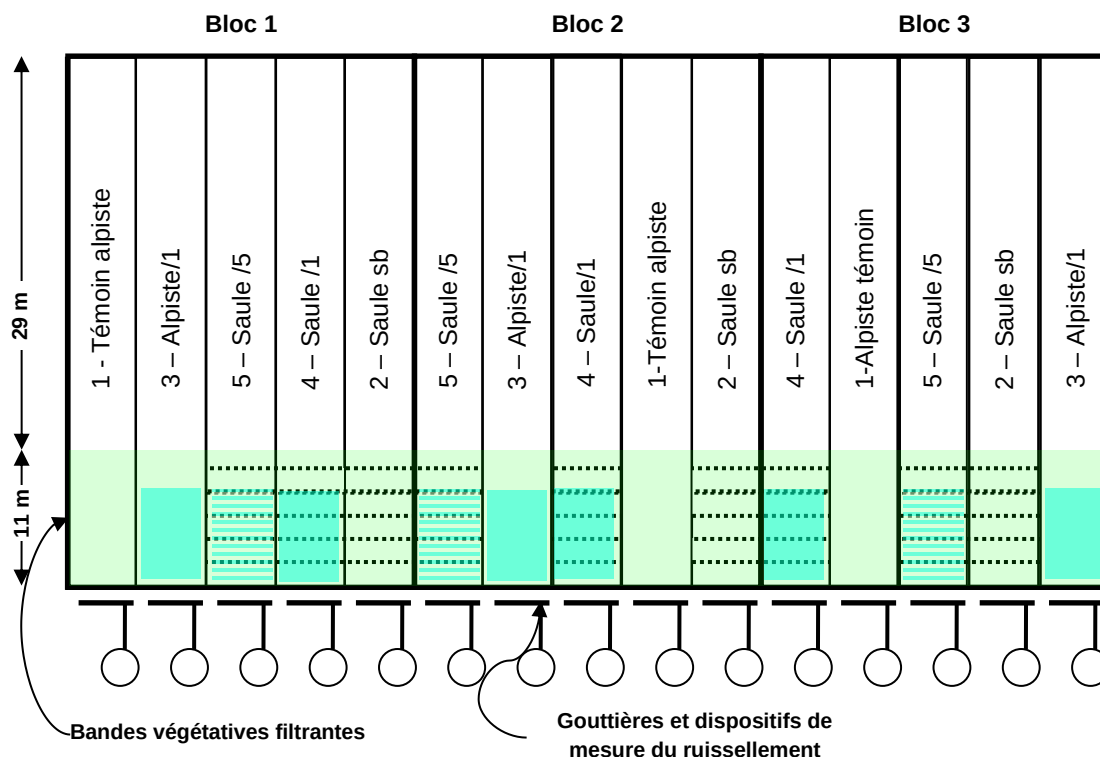


Figure 2 : Plan du dispositif expérimental à Saint-Lambert-de-Lauzon.

3.1.2 Paramètres mesurés

De deux à trois échantillons de lisier ont été prélevés à chaque épandage pour fin d'analyse. Au laboratoire, les échantillons ont été homogénéisés au Polytron (Model PT 3100, Kinematica AG, Littau-Lucerne, Switzerland) avant leur analyse par des méthodes standards reconnues (Hoskins et al., 2003; CPVQ, 1997). La teneur en azote ammoniacale a été déterminée par colorimétrie automatisée sur FIA (flow injection analysis, Lachat Instruments, Milwaukee, WI) dans un extrait de 5 g de lisier brassé dans 50 ml d'une solution de KCl 2M (ratio 1 :10) et filtré. Les teneurs en matières sèches et en cendres ont été déterminées respectivement à l'étuve à 105°C et après incinération à 350°C. La teneur en azote total a été dosée avec une méthode Kjeldahl modifiée, après digestion de l'échantillon par voie humide à l'acide sulfurique et sélénieux (Isaac et Johnson, 1976). Les teneurs en éléments totaux P, K, Ca, Mg Na, B, Al Cu, Fe, Mn ont été dosées par spectrométrie d'émission au plasma d'argon (ICP) (Eaton et al., 2005; Greenberg et al., 1992).

Les biomasses produites dans les bandes végétatives ont été récoltées annuellement à l'automne à partir de la deuxième année suivant l'implantation (2011) dans le cas de l'alpiste roseau et trois ans (2012), cinq ans (2014) et 7 ans (2016) suivant l'implantation du saule. Les rendements en biomasse sèche ainsi que les concentrations et les exportations en N_{total} , P, K, Ca, Mg Na, B, Al Cu, Fe, Mn des biomasses récoltées ont été déterminés à partir d'échantillons prélevés sur les cinq rangées de saule (cinq par bande végétative) et sur deux sections en amont et en aval des bandes végétatives d'alpistes roseau. Les biomasses ont été séchées à l'étuve à 60°C, jusqu'à l'obtention d'un poids constant, broyées et tamisées à 0,5 mm. La teneur en azote total a été dosée avec une méthode Kjeldahl modifiée, après digestion de l'échantillon par voie humide à l'acide sulfurique et sélénieux (Isaac et Johnson, 1976). Les teneurs en éléments totaux P, K, Ca, Mg Na, B, Al Cu, Fe, Mn ont été dosées par spectrométrie d'émission au plasma d'argon (ICP) (Eaton et al., 2005; Greenberg et al., 1992).

L'évolution des concentrations de nutriments dans le sol sous les bandes végétatives a été suivie par un échantillonnage de sol à 0 - 20 cm de profondeur en amont (0 - 4 m) et en aval (4 - 10 m) de chaque bande végétative. Le sol avait été échantillonné dans la première phase de l'étude, le 11 août 2011 et le 19 novembre 2012 (Gasser et al., 2014). Le sol a été échantillonné à nouveau le 15 octobre 2016 pour suivre son évolution, sept ans après l'installation des bandes végétatives filtrantes et des baissières. Les sols ont été analysés au laboratoire de l'IRDA selon des méthodes standards reconnues (Carter et Gregorich, 2007; CPVQ, 1997). Le pH eau et le pH tampon SMP ont été déterminés dans une solution 1:1. La teneur en C organique a été déterminée par la méthode Walkey-Black (Carter et Gregorich, 2007) et la teneur en N total par une méthode Kjeldahl automatisée, après digestion de l'échantillon par voie humide à l'acide sulfurique et sélénieux (Isaac et Johnson, 1976). Les teneurs en éléments P, K, Ca, Mg, Na, B, Al Cu et Mn extraits à la solution Mehlich 3 (Tran et al., 1990) ont été dosées par spectrométrie d'émission au plasma d'argon (ICP) (Eaton et al., 2005; Greenberg et al., 1992).

Les mesures de ruissellement et l'échantillonnage des eaux ruisselées ont débuté au printemps 2011 à la fonte des neiges et se sont poursuivies jusqu'en juillet 2013 lors de la première phase de l'étude (Gasser et al., 2014). La présente étude comporte des mesures réalisées à partir de juillet 2013 jusqu'à décembre 2016. Après chaque évènement conduisant à un ruissellement moyen supérieur à au moins 15 mm d'hauteur d'eau (ou 2400 litres sur une parcelle de 4 m de large x 40 m de long (11,5 m de bande végétative + 28,5 m de prairie)), l'eau était échantillonnée et le ruissellement totalisé. Les paramètres analysés dans les eaux ruisselées étaient les concentrations en sédiments, ou matière en suspension (MES), N total dissous, N minéral ($N-NH_4$, $N-NO_3$), P total, P total dissous, P ortho dissous, K, Ca, Mg, Na, B, Al, Cu, Fe, Mn. Les eaux ont été analysées au laboratoire de l'IRDA avec des méthodes standards reconnues (Eaton et al., 2005; Greenberg et al., 1992; CEAEQ, 2008; CPVQ, 1997). La matière en suspension (MES) a été déterminée par pesée après une filtration de l'eau brute sur un papier millipore de 0,45 μm . Le P total a été dosé en colorimétrie automatisée après digestion acide de l'eau brute au persulfate (K_2SO_4) acide. Tous les autres éléments dissous ont été déterminés dans l'eau filtrée à 0,45 μm . L'azote total dissous a été dosé en colorimétrie automatisée après digestion aux UV, tandis que $N-NH_4$, $N-NO_3$ et P ortho ont été dosés directement en colorimétrie automatisée. Les autres éléments : P total dissous, K, Ca, Mg Na, B, Al, Cu, Fe, Mn ont été dosés par spectrométrie d'émission au plasma d'argon (ICP).

3.1.3 Traitements statistiques

Les analyses de variance pour comparer les traitements ont été réalisées avec la procédure Proc Mixed dans le logiciel SAS. (SAS Institute, 2003). Des modèles linéaires mixtes normaux ont été utilisés. Les termes d'erreur aléatoire ou fixe ont été précisés selon les sources de variation et la structure de covariance basée sur des critères calculés avec SAS.

3.2 TRANSFERT DES RÉSULTATS À L'ÉCHELLE DE LA FERME

À la dernière année du projet, des consultations ont été menées auprès de l'équipe de référence sur les aménagements alternatifs du MAPAQ, d'une représentante des producteurs de bovins du Québec et de chercheurs de l'IRDA impliqués au niveau de la conception et du suivi d'aménagement alternatifs en production bovine. Un feuillet technique a par la suite été élaboré et validé avec ce comité consultatif pour proposer les formes d'aménagements de baissières les plus prometteuses en termes de faisabilité et de gain environnemental.

4 RÉSULTATS

Les résultats pour la période de 2011 à 2013 ont été présentés dans un premier rapport (Gasser et al., 2014). Le présent rapport reprendra une partie de ces informations pour réaliser selon la pertinence, des bilans sur les quatre dernières années de production ou les six années, représentant deux ou trois cycles bisannuels de récolte du saule.

4.1 APPORTS EN NUTRIMENTS DANS LA PRAIRIE EN AMONT DES BANDES VÉGÉTATIVES FILTRANTES

Le Tableau 1 résume les apports en nutriments (N, P, et K) résultant des épandages massifs de lisier de porc et de bovins réalisés dans la prairie en amont des bandes végétatives filtrantes. Ces épandages étaient réalisés pour simuler des charges massives de nutriments provenant d'enclos d'hivernage. Dans la première phase du projet (2011-2013), les charges initialement prévues par parcelle de 114 m² en amont de chaque BVF étaient de 13,7 de N et 3,0 kg de P pour une densité d'élevage typique de 150 m² par vache/veau (Gasser et al., 2014).

Tableau 1 : Apports en nutriments réalisés avec les épandages de lisier de porc et de bovins pour simuler des charges en amont des bandes végétatives filtrantes.

Année	Date épandage	Dose	N Total	P	K	N Total	P	K
		(tm/ha)	(kg/parcelle)			(kg/ha)		
2011	22 juin	50	4,3	1,0	1,9	375	89	166
	17 août	50	2,8	0,3	1,5	243	31	135
	20 septembre	50	2,4	0,4	1,2	208	37	108
2012	14 mai	50	4,8	1,0	1,9	424	91	168
	14 juin	50	3,7	0,7	1,7	325	64	152
	02 août	50	2,4	0,3	1,5	213	23	127
	09 août	50	2,3	0,2	1,5	205	18	128
	07 septembre	100	5,0	0,9	2,3	436	77	202
	27 septembre	100	6,7	1,3	3,1	585	113	268
	24 octobre	100	8,6	2,6	3,8	754	225	332
2013	15 juin	50	5,3	0,9	2,2	462	78	190
	5 septembre	50	3,5	0,4	1,8	311	37	160
2014	04 juin	50	3,0	0,4	1,6	263	38	139
	10 juillet	50	3,6	1,0	1,7	315	85	146
	03 octobre	50	3,6	1,0	1,6	313	84	139
2015	07 octobre	88	3,3	0,7	4,0	293	62	351
	04 novembre	59	2,0	0,4	2,6	173	39	228
Moyenne annuelle		209	13,4	2,7	7,2	1180	238	628

Les nouvelles normes de conception des enclos d'hivernage prévoient une densité d'élevage de 100 m² par vache-veau (Côté et al., 2014). Cette densité amènerait des apports annuels de 20,5 de N et 4,5 kg de P respectivement pour la surface de 114 m² par parcelle prévue en amont de chaque BVF de notre essai. Toutefois, les nouvelles mesures recommandées dans l'aménagement de ces enclos préconisent aussi la réduction à la source des volumes d'eau de ruissellement et des charges en optant pour des aires d'alimentation couvertes et bétonnées, et la possibilité d'exporter une partie des fumiers (Côté et al., 2014; Godbout et al., 2016). Les 13,4 kg de N et 2,7 kg de P apportés annuellement en moyenne dans nos parcelles sont donc une approximation raisonnable des charges produites par des élevages bovins dans des enclos d'hivernage améliorés. Toutefois, la répartition des charges a été relativement inégale durant l'expérimentation, avec des charges près de quatre fois plus importantes en 2012 par rapport aux autres années du projet (Figure 3).

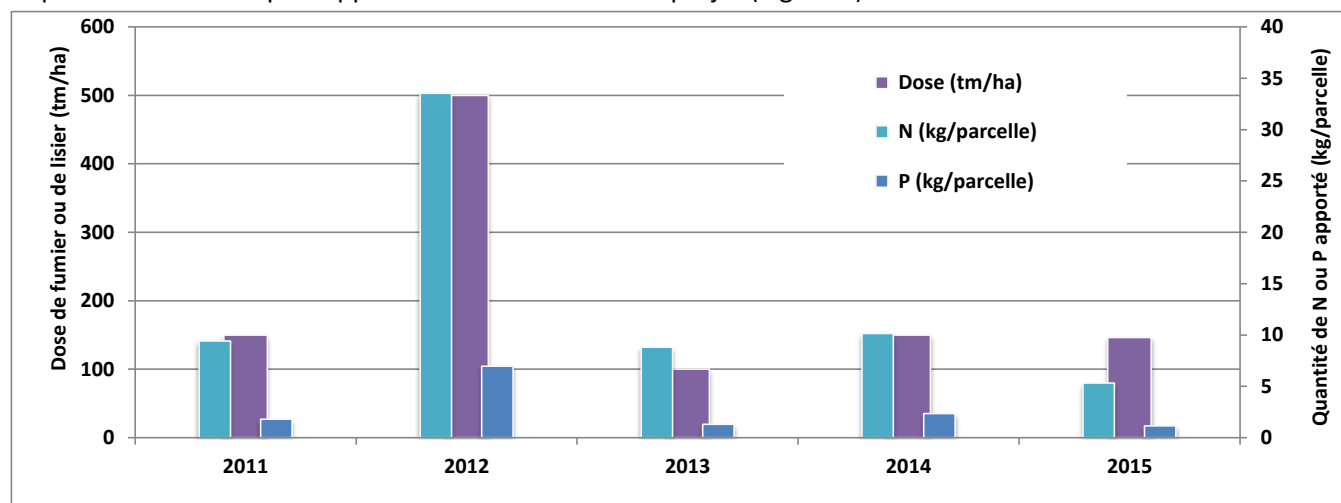


Figure 3 : Répartition des apports de lisier et de fumier en termes de dose, de N et de P en amont des bandes végétatives de 2011 à 2015.

4.2 PRODUCTIVITÉ DE LA BANDE VÉGÉTATIVE FILTRANTE ET EXPORTATIONS DE NUTRIMENTS

Les productivités annuelles et cumulées sur 6 ans (2011 à 2016) de l'alpiste et du saule cultivés dans les différents aménagements de baissières sont présentées au Tableau 2 et à la Figure 4 et l'Annexe 2. L'alpiste roseau a produit en moyenne annuellement 5,7 tm/ha de matière sèche (MS), avec un maximum de productivité atteint entre sa troisième et quatrième année de production (2013-2014). La productivité du saule n'a quant à elle pas cessé d'augmenter, présentant toutefois un léger ralentissement de productivité en 2016 à son troisième cycle de récolte. Sa production annuelle est passée de 4 tm/ha en 2012, à 19 tm/ha en 2014 et à 25 tm/ha en 2016 pour une production annuelle moyenne sur 6 ans de 16 tm MS/ha. L'alpiste et le saule ont semblé bénéficier à moyen terme de la présence de baissières, mais les accroissements de productivité observés n'étaient pas significatifs en termes statistiques (Tableau 2). L'Annexe 1 illustre les conditions parfois submergées dans lesquelles se trouvaient le saule et l'alpiste à différentes périodes de l'année, qui n'ont pas tant affecté les rendements à la baisse dans la baissière et les auraient plutôt favorisés sur le reste de la BVF.

Tableau 2 : Analyse de variance sur le rendement moyen annuel (sur 6 ans) en biomasse de l'alpiste et du saule et les quantités d'éléments exportés en fonction des types de baissières

	Rendement		Éléments prélevés et exportés							
Traitement	biomasse sèche		N		P		K		Ca	
	— tm/ha —		— kg/ha —							
1- Alpiste témoin	5,5	±0,3 ^a	77,4	±6,4	13,3	±1,1	87,7	±8,1	13,3	
2- Alpiste/1	5,8	±0,3	82,7	±6,3	13,6	±1,1	91,8	±8,0	13,0	
3- Saule sb	15,3	±1,0	95,5	±9,8	14,8	±1,1	42,1	±3,2	95,6	
4- Saule/1	16,4	±1,0	100,9	±9,8	15,5	±1,1	44,3	±3,2	95,4	
5- Saule/5	16,3	±1,0	101,4	±9,8	15,1	±1,1	46,6	±3,2	103,1	
Valeur de F	98,5		20,3		42,3		1,2		48,7	
Prob. de F	0,0002		0,007		<0,0001		<0,0001		0,0005	
Moyenne										
Alpiste	5,7		80,1		13,5		89,8		13,1	
Saule	16,0		99,3		15,2		44,3		98,1	
Contrastes										
Prob. de t										
Alpiste vs Saule	<0,0001		0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
Alpiste témoin vs Alpiste/1	n.s		n.s		n.s		n.s		n.s	
Saule sb vs Saule/1 et Saule/5	n.s		n.s		n.s		n.s		n.s	
Saule/1 vs Saule/5	n.s		n.s		n.s		n.s		n.s	

a : Moyenne et erreur type.

Alpiste témoin : BVF d'alpiste sans baissière; Alpiste/1 : Alpiste avec une baissière; Saule sb : Saule sans baissière; Saule/1 : Saule avec une baissière; Saule/5 : Saule avec cinq baissières.

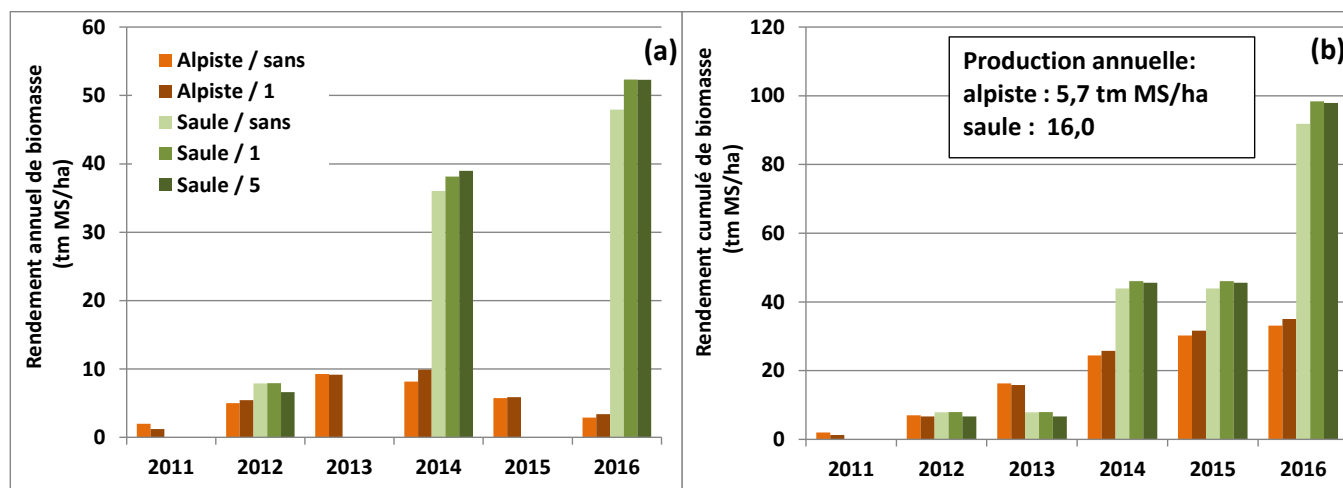


Figure 4 : Productivité annuelle (a) et cumulée (b) de l'alpiste et du saule cultivés dans différentes configurations de baissières

Les rendements de saule étaient par ailleurs fonction de la position de la rangée de saule sur la BVF (Figure 5). En fait, les rendements mesurés sur les rangées situées aux extrémités en amont et en aval des BVFs étaient systématiquement plus élevés par rapport à ceux des rangées situées plus à l'intérieur des BVFs et ces écarts ont augmenté au cours du temps entre le 2^e et 3^e cycle de récolte. La productivité du saule augmente donc en bordure de ces BVFs en profitant d'une meilleure exposition à la lumière et d'une plus grande surface disponible pour l'exploitation des ressources en eau et nutriments par les racines de saule au pourtour des BVFs.

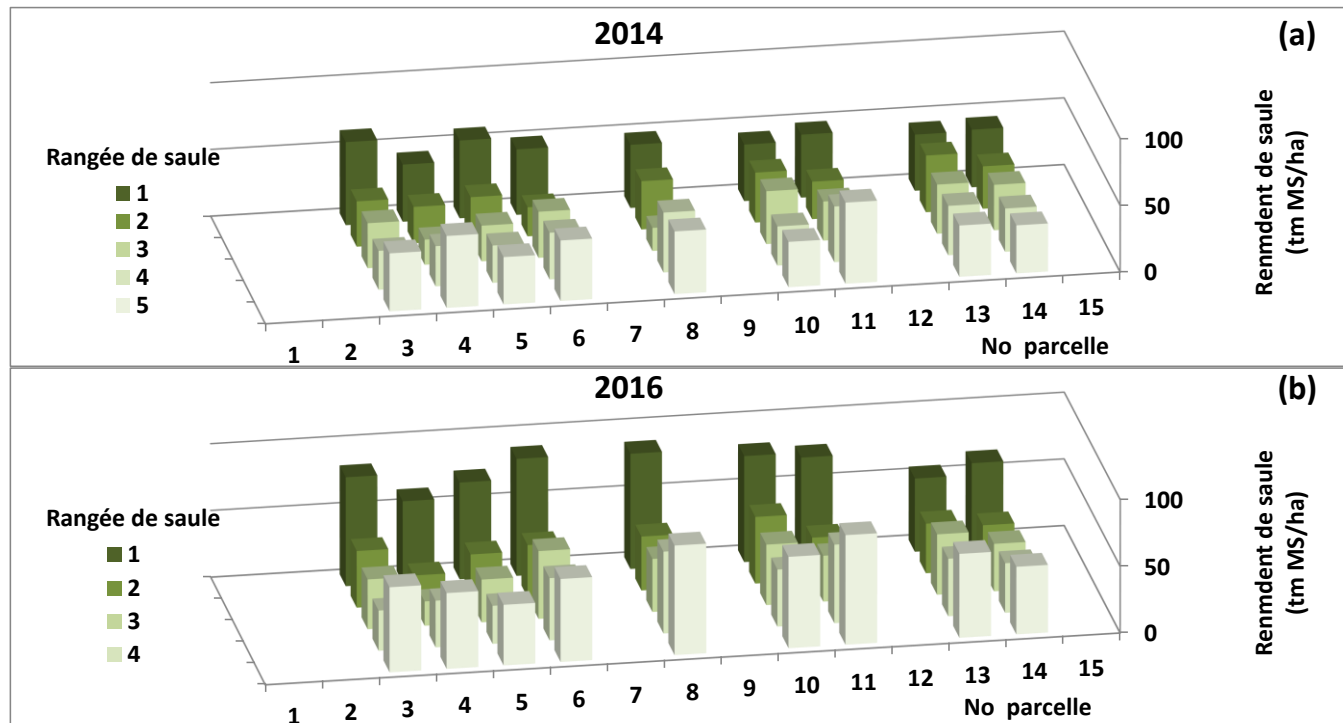


Figure 5 : Distribution spatiale des rendements du saule en 2014 (a) et 2016 (b) en fonction de la position de la rangée de saule de l'amont (1) à l'aval (5) de la BVF.

On doit donc s'attendre à une certaine réduction de la productivité à mesure qu'on augmente la largeur des BVFs et à l'inverse on a tendance à surestimer le potentiel de productivité des espèces végétales dans ces BVFs par rapport à une exploitation en plein champ. Le cumul des éléments exportés avec les biomasses récoltées d'alpiste et de saule est présenté au Tableau 2 et à la Figure 6. En moyenne sur six ans, le saule a exporté 24 % plus d'azote (99 vs 80 kg N/ha annuellement) dans sa biomasse récoltée et 13 % plus de phosphore (15,2 vs 13,5 kg P/ha annuellement) que l'alpiste roseau. L'alpiste a toutefois exporté deux fois plus de potassium (90 vs 44 kg K/ha annuellement) et à l'inverse quatre fois moins de calcium que le saule (13 vs 98 kg Ca/ha annuellement). La composition herbacée ou lignifiée des deux biomasses exportées explique en grande partie ces différences en quantités de nutriments exportés. La biomasse exportée de l'alpiste présentait des concentrations beaucoup plus élevées en P, K, Mg, Al, et Fe, tandis que celle du saule présentait des concentrations plus élevées de Ca et Zn (Annexe 1). La présence de baissière semble avoir favorisé les exportations de nutriments par l'alpiste et le saule, quel que soit les deux différents types de baissières dans le saule, sans toutefois produire de différences significatives en termes statistiques (Tableau 2).

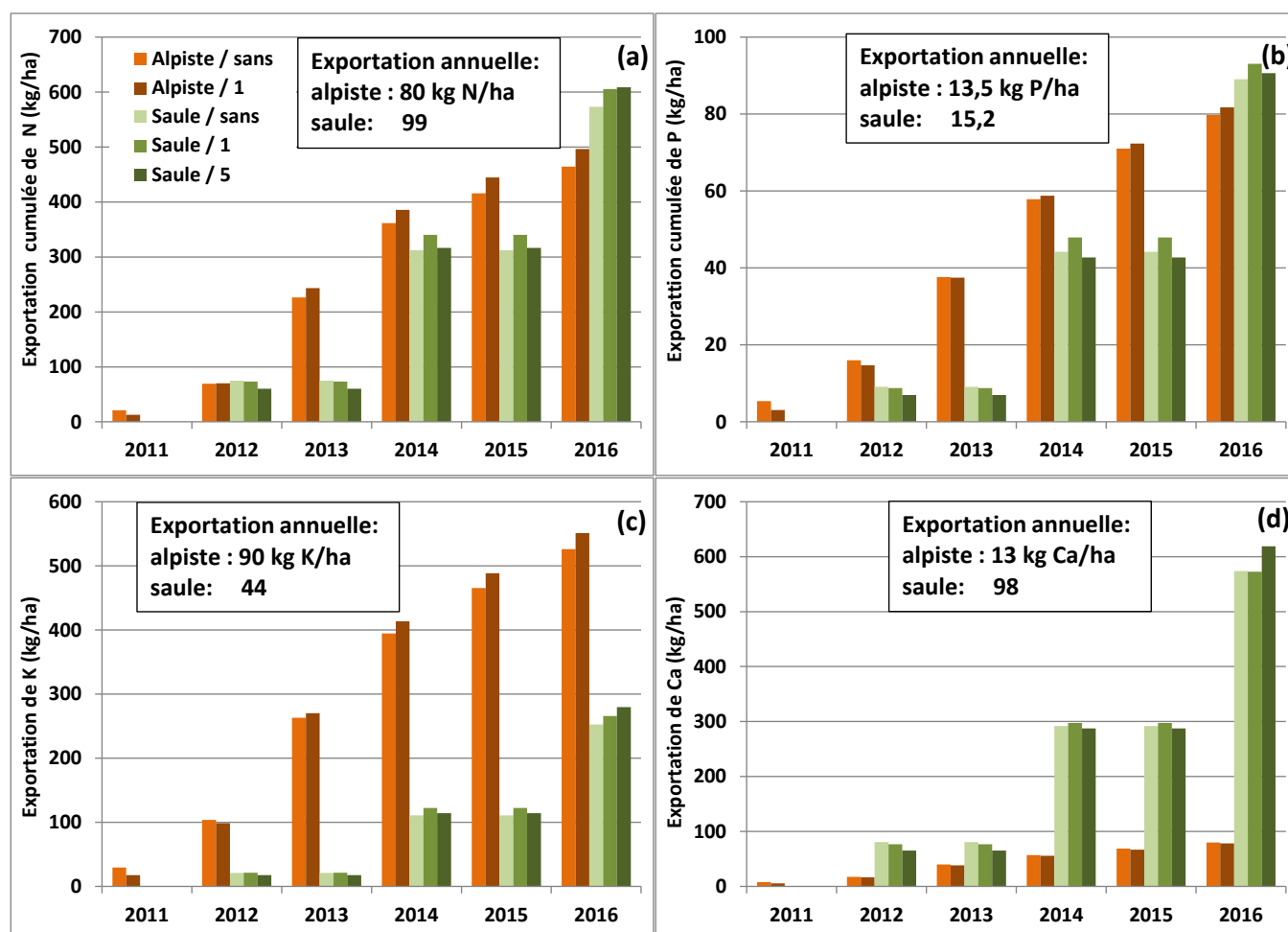


Figure 6 : Exportations cumulées de N (a), P (b), K (c) et Ca (d) dans la biomasse de l'alpiste et du saule cultivés dans différents aménagements avec et sans baissière.

4.3 ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE NUTRIMENTS DANS LE SOL DES BAISSIÈRES

L'analyse du sol dans les bandes végétatives filtrantes (BVF) avait révélé dans la première phase de l'étude de 2011 à 2012, un effet important de l'année, suivi de son interaction avec la position amont-aval dans la bande végétative (Gasser et al., 2014). L'effet de l'année se traduisait par une augmentation importante de la plupart des teneurs en éléments dans le sol liée entre autres aux apports massifs de lisier et d'éléments fertilisants en amont des bandes végétatives. Des augmentations avaient été observées en amont de la bande végétative filtrante en deuxième année, pour des éléments plus mobiles comme N-NO_3 et Na-M3 . L'aménagement de baissières avait abaissé quelque peu les teneurs en P-M3 , K-M3 et en matière organique dans le sol (C org.) en première année (2011) et ces teneurs étaient encore plus faibles dans les bandes végétatives avec une ou cinq baissières par rapport aux bandes d'alpiste et de saule sans baissière. La teneur en N total du sol était aussi significativement plus basse dans le saule en une ou cinq baissières, par rapport à la BVF de saule sans baissière. L'excavation du sous-sol lors de la création des baissières en première année avait réduit le niveau de fertilité de ces BVFs. En résumé, l'alpiste démontrait en début d'implantation une capacité plus élevée que le saule à réduire les teneurs en éléments solubles et mobiles comme N-NO_3 et Na-M3 et même en K-M3 , P-M3 et Mg-M3 considérés moins mobiles. Les prélèvements et exportations plus importants de ces éléments dans la biomasse de l'alpiste par rapport au saule étaient probablement responsables de ces plus faibles teneurs mesurées dans le sol.

L'analyse de variance réalisée sur les analyses de sol prélevé dans les bandes végétatives filtrantes entre 2012 et 2016 a encore révélé des effets importants de l'année et de la position d'échantillonnage amont-aval dans la bande végétative, comme dans la phase précédente de l'étude (Tableau 3). Les valeurs moyennes de ces analyses sous les effets des traitements, de la position et de l'année sont présentées à l'Annexe 3. La plupart des teneurs en éléments fertilisants (P-M3 , K-M3 , Mg-M3 , Na-M3 , Cu-M3 , Zn-M3) ont augmenté significativement dans le sol de 2012 à 2016, mais les teneurs en carbone (C. org), N-NO_3 et N-NH_4 ont plutôt accusé une baisse. Les interactions significatives entre l'année et la position d'échantillonnage révèlent par ailleurs des augmentations en P-M3 , K-M3 et Mg-M3 en amont dans la bande végétative, tandis que les teneurs en N minéral (N-NO_3 et N-NH_4) se sont abaissées par rapport à leur état élevé mesuré en amont en 2012 (Figure 7). Ces diminutions de N minéral au cours du temps s'expliqueraient par la diminution du régime des apports en effluents à l'amont des bandes végétatives de 2012 à 2016 et à la capacité élevée de ces plantes pérennes à prélever ou réorganiser l'azote minéral du sol. Les comparaisons Saule vs Alpiste en fonction de l'année et de la position dans la BVF révèlent quant à elles des augmentations au cours du temps des teneurs en N-NO_3 , P-M3 , K-M3 , Mg-M3 et Cu-M3 en amont dans les bandes végétatives de saule par rapport à celles en alpiste (Figure 8). À l'inverse, les teneurs en Zn-M3 tendent à augmenter en aval dans les BVFs sans égard à l'espèce cultivée. En moyenne sur les deux ans (2012 et 2016), les teneurs en N-NO_3 , P-M3 , K-M3 , Mg-M3 et Na-M3 et P/Al M3 tendaient à être plus faibles dans le sol sous l'alpiste par rapport au saule, mais les effets les plus marqués au niveau des traitements étaient sur le K-M3 et l'indice de saturation en P (P/Al-M3) (Tableau 3). Les teneurs plus faibles mesurées dans le sol sous l'alpiste par rapport au saule (117 vs 163 mg/kg de K-M3) (Figure 9) sont directement en lien avec les exportations quatre fois plus importantes de K dans la biomasse d'alpiste (Figure 6).

Tableau 3 : Analyse de variance sur l'évolution des propriétés du sol de 2012 à 2106

	pH	C/N	C org.	N total	N- NH ₄	N- NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Al	Mn	P/Al	
Effets	eau				Extrait KCl 2M		Extrait Mehlich-3											
	Valeur de F																	
	Traitement	1,4	0,6	0,8	1,7	0,6	2,1	2,9	4,4	0,2	1,8	3,1	1,3	1,0	1,0	1,0	1,2	3,1
	Position	0,7	0,2	0,3	1,0	2,2	15,9	16,8	9,9	0,7	9,7	87,3	0,1	6,5	1,4	0,1	0,4	14,3
	Traitement*Position	2,6	1,9	0,6	0,5	0,7	1,4	2,8	0,8	2,6	3,1	5,5	1,5	1,1	0,6	0,4	0,2	2,7
	Année	80,2	0,1	21,9	5,9	22,0	80,0	35,7	48,1	0,2	54,4	15,7	18,0	4,5	0,2	25,9	0,1	26,6
	Traitement*année	0,4	0,5	0,3	0,7	0,2	2,9	4,3	1,4	2,4	0,4	2,2	5,0	2,9	1,2	1,5	0,6	4,0
	Position*année	3,6	1,8	7,9	0,5	6,3	21,3	46,1	30,2	0,3	5,7	19,8	5,3	8,2	0,7	12,9	4,4	36,2
	Traitement*Position*année	0,3	0,7	1,1	1,9	1,0	2,0	7,9	6,0	0,8	1,9	3,2	1,7	2,3	0,4	2,7	1,8	7,9
Effets	Prob. de F																	
	Traitement						0,07	0,01			0,06							0,05
	Position					0,002	0,001	0,01		0,01	<0,0001		0,03					0,003
	Traitement*Position	0,08					0,08		0,08	0,06	0,02							0,08
	Année	<0,0001		0,0006	0,04	0,001	<0,0001	<0,0001		<0,0001	0,005	0,001	0,06		0,0003			0,0001
	Traitement*année						0,06	0,02		0,11		0,02	0,07					0,02
	Position*année	0,10		0,01		0,02	0,001	<0,0001	<0,0001		0,03	0,001	0,04	0,01		0,003	0,06	<0,0001
	Traitement*Position*année							0,002	0,005			0,05				0,07		0,001
	Contrastes	Prob. de t																
Alpiste vs Saule						0,02	0,03	0,002		0,03	0,02							0,02
Alpiste témoin vs Alpiste/1											0,05							
Saule sb vs Saule/1 et Saule/5																		
Saule/1 vs Saule/5																		0,05
Alpiste témoin vs Saule sb		0,09					0,04		0,04		0,08	0,02						

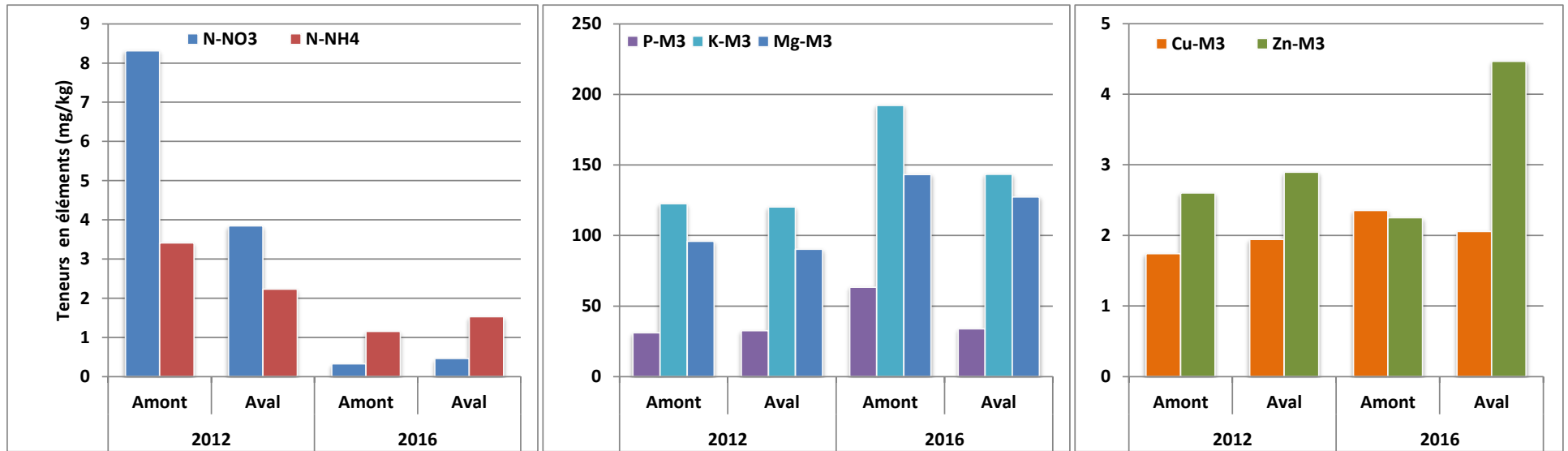


Figure 7 : Interactions Position-Année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.

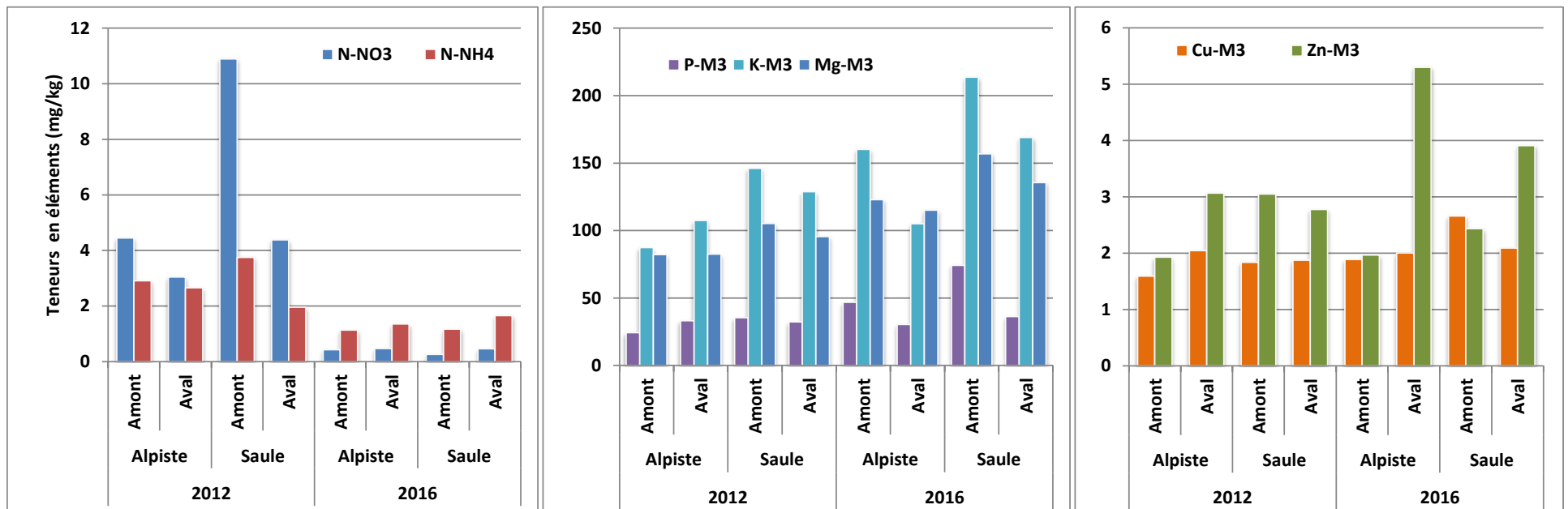


Figure 8 : Comparaison Alpiste vs Saule en fonction de la position et de l'année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.

En revanche, les niveaux de saturation en P/Al-M3 plus faibles mesurés sous l’alpiste (3,1 %) par rapport au saule (4,2 %) sont plutôt reliés aux exportations plus importantes de P de l’alpiste par rapport au saule en début d’installation des BVFs (de 2011 à 2014) (Figure 6b).

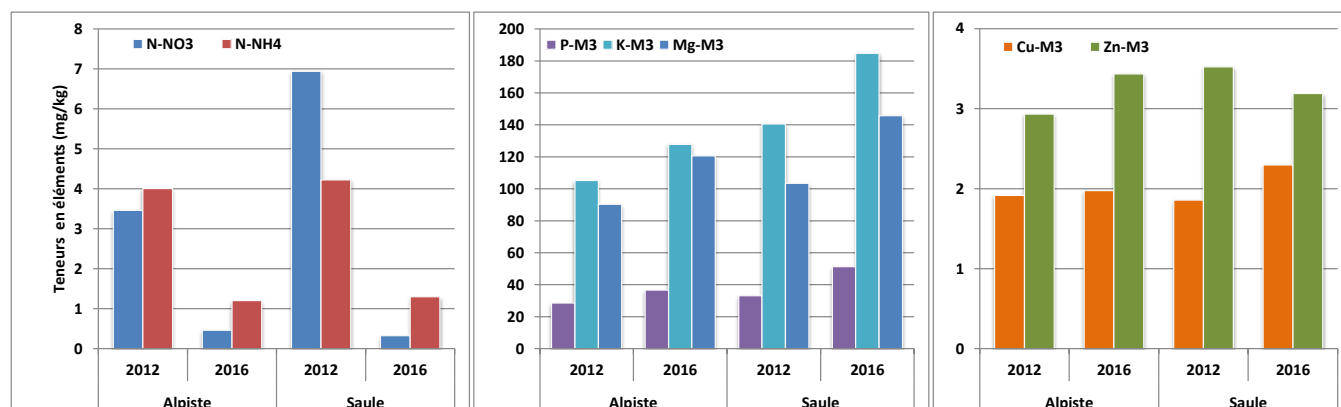


Figure 9 : Comparaison Alpiste vs Saule en fonction de l’année sur les teneurs en N minéral et P, K, Mg, Cu et Zn Mehlich-3 mesurées dans le sol des bandes végétatives filtrantes.

4.4 VOLUME ET QUALITÉ DE L’EAU RUISSELÉE À LA SORTIE DES BANDES VÉGÉTATIVES FILTRANTES

Le premier bilan sur la qualité de l’eau rapporté dans la première phase de l’étude de 2011 à 2012, couvrait 28 épisodes d’échantillonnage de l’eau réalisés du 19 août 2011 au 3 juillet 2013 (Gasser et al., 2014). Afin de couvrir les effets de deux derniers cycles de culture de saule en conditions optimales de croissance, nous rapportons ici les mesures de qualité de l’eau réalisées du 24 octobre 2012 au 5 décembre 2016, soit 46 épisodes d’échantillonnage réalisées entre les deux cycles de récolte de saule. Afin de comparer les effets hydrologiques sur une base saisonnière, chaque année de culture a été subdivisée arbitrairement en trois saisons hydrologiques, soit l’hiver (novembre à février), le dégel (mars à avril) et la saison de culture (mai à octobre).

L’ANOVA sur les différents paramètres de la qualité de l’eau révèle des effets importants des traitements, de la saison et des années, ainsi que de leurs interactions sur la plupart des paramètres sauf les charges en MES dans les eaux de ruissellement (Tableau 4 et Tableau 5). Ce dernier constat pourrait s’expliquer par les faibles concentrations de MES généralement mesurées, ne représentant pas de plus de 100 mg/litre en concentration moyenne pondérée. Les bandes végétatives filtrantes étaient donc relativement efficaces pour filtrer les MES, peu importe la présence de baissières ou de l’espèce cultivée. Seul un effet annuel et saisonnier a été observé sur les concentrations de MES (Tableau 5).

Les volumes d’eau ruisselés ont particulièrement varié en fonction des traitements et la présence de baissières a eu un effet très important pour réduire les volumes d’eau à toutes les périodes (durant l’hiver, le dégel ou la culture) de 2013 à 2016, que ce soit dans l’alpiste ou le saule (Prob. de $F < 0,0001$) (Tableau 4 et Figure 10).

Tableau 4 : Analyse de variance sur le ruissellement et les charges d'éléments produits à la sortie des BVFs de nov. 2012 à nov. 2106

	Ruissel- lement	Charges								
ANOVA (Prob. de F.)		MES	N tot. dis.	N-NH4	N-NO3	P total.	P tot. dis.	P réactif	K	Ca
Traitement	< 0,0001		0,0001	0,0008	0,010	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,004
An	0,004		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
saison	< 0,0001		0,0000	0,0000	0,006	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
An*Traitement			0,01	0,10		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,004	0,03
saison*Traitement	0,0003		0,07	0,01		0,006	0,005	0,005		
An*saison	< 0,0001		0,003	< 0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0004	0,0005
An*saison*Traitement						0,008	0,005	0,007		0,10
Contrastes (Prob. de t)										
Alpiste vs Saule				0,08						
Hiver										
Dégel			0,05	0,003		0,02	0,02	0,01		
Culture										
Alpiste tém. vs Alpiste/1	< 0,0001		0,0001	0,0003	0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	0,002
Hiver	0,0009									
Dégel	0,003		0,0001	< 0,0001		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0002	0,0002
Culture	0,0001		0,0004	0,09	0,0009	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,02
Saule sb vs Saule /1 et /5	0,0001		0,01	0,07		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	0,03
Hiver	0,05								0,04	
Dégel	0,005					0,002	0,001	0,003	0,001	0,02
Culture	0,0004		0,01		0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007	
Saule/1 vs saule /5			0,03		0,01				0,07	0,10
Hiver	0,09				0,07					
Dégel									0,04	0,10
Culture					0,04					
Sans vs avec baissières	< 0,0001		0,0001	0,0001	0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0008
Hiver	0,0003								0,02	
Dégel	0,0001		0,0002	0,0001		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001
Culture	< 0,0001		0,0001	0,02	0,004	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,01

Tableau 5 : Analyse de variance sur les concentrations moyennes pondérées d'éléments produites à la sortie des BVFs de nov. 2012 à nov. 2106

	Concentrations moyennes pondérées								
ANOVA (Prob. de F.)	MES	N tot. dis.	N-NH4	N-NO3	P total.	P tot. dis.	P réactif	K	Ca
Traitement			0,007		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,03	0,007
An	0,007	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
saison	< 0,0001	< 0,0001	0,009	< 0,0001				< 0,0001	< 0,0001
An*Traitement					0,004	0,002	0,001		
saison*Traitement								0,06	
An*saison		0,02	0,003	0,0003	0,003	< 0,0001	0,0002	0,09	0,02
An*saison*Traitement					0,02	0,005	0,01		
Contrastes (Prob. de t)									
Alpiste vs Saule								0,06	0,05
Hiver								0,006	0,01
Dégel						0,09	0,09		
Culture									
Alpiste tém. vs Alpiste/1			0,003		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,02	
Hiver			0		0,004	0,002	0,003	0,02	
Dégel			0,03		0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
Culture			0,06		0,0003	0,0001	0,0001	0,04	
Saule sb vs Saule /1 et /5					0,0001	0,0001	< 0,0001		0,007
Hiver					0,0002	< 0,0001	< 0,0001	0,008	0,05
Dégel					0,06	0,03	0,04		
Culture					0,0004	0,0002	0,0002		
Saule/1 vs saule /5		0,03	0,02	0,08	0,07		0,05		
Hiver		0,001	0,009	0,005				0,01	0,06
Dégel									
Culture									
Sans vs avec baissières			0,02		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,03	0,001
Hiver					< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,003	0,004
Dégel			0,08		0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
Culture			0,08		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,08	0,08

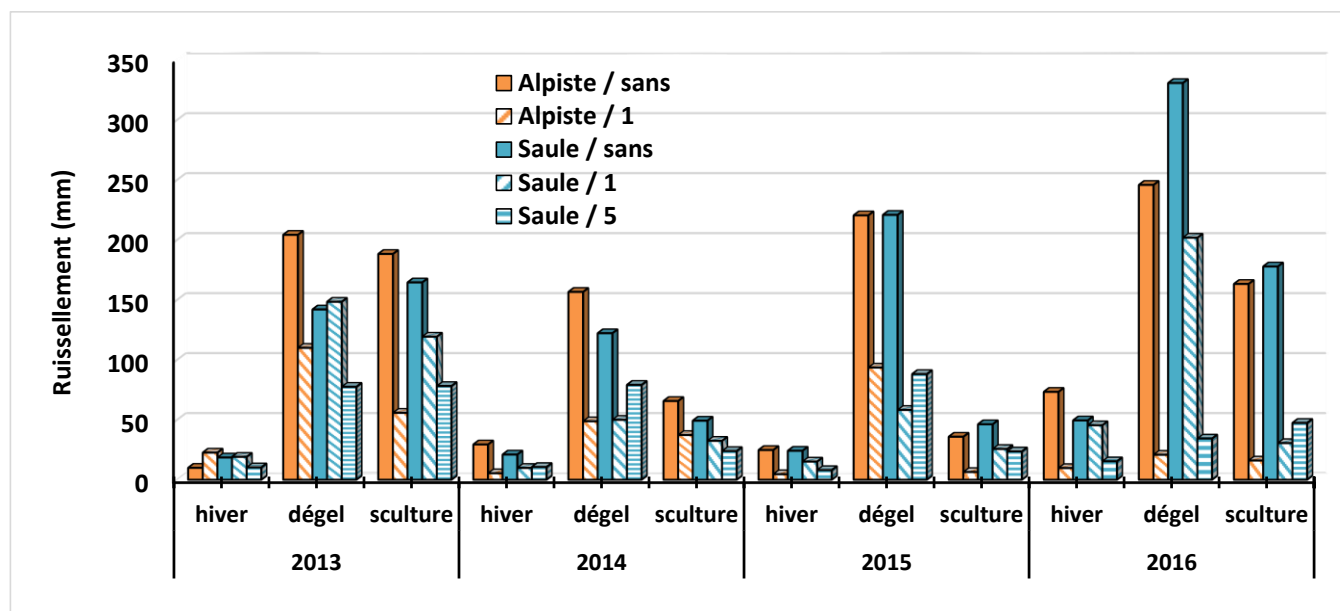


Figure 10 : Volumes d'eau ruisselés à la sortie des différentes BVFs d'alpiste de saule avec ou sans baissière.

À la sortie des BVFs de saule et d'alpiste sans baissière, le ruissellement moyen a varié de 222 mm en 2014 à 520 mm en 2016 (Figure 11a). Une plus grande part de ce ruissellement était observée durant la période du dégel (de 48 à 77 %) (Figure 11a). L'aménagement d'une grande baissière dans les BVFs de saule et d'alpiste a réduit le ruissellement de 35 % en 2013 à 69 % en 2016 (Figure 11b). La présence de cinq baissières dans le saule a permis de réduire le ruissellement de 49 % en 2014 à 81 % en 2016 (Figure 11c).

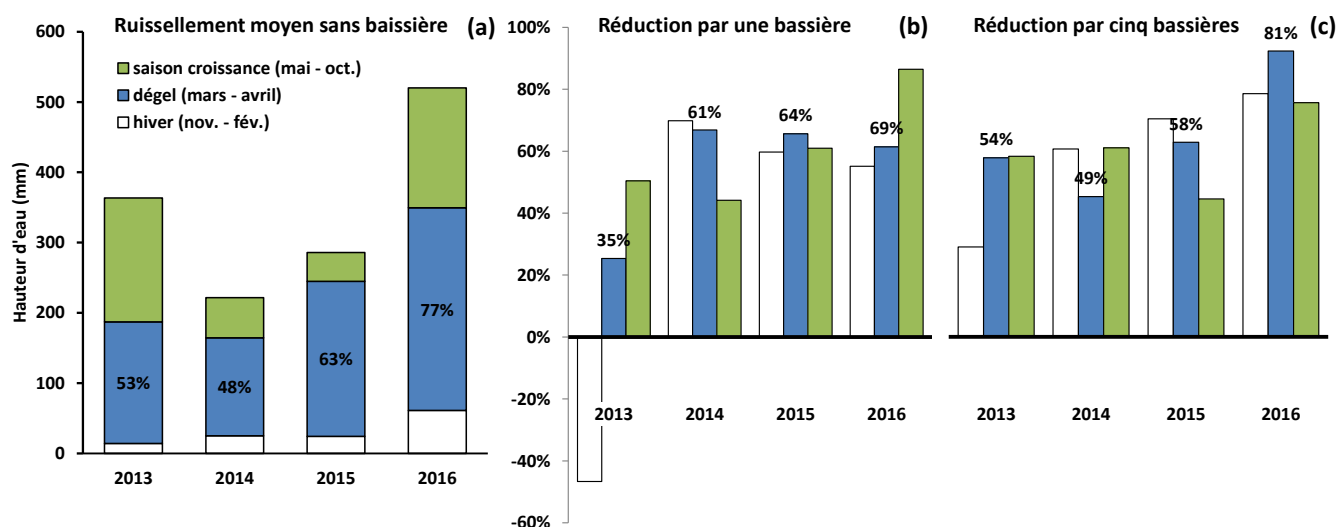


Figure 11 : Volumes d'eau ruisselés moyens à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction du ruissellement engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).

L'ANOVA indique une interaction significative entre les saisons et les traitements sur les volumes d'eau ruisselés (Prob. de $F = 0,0003$) (Tableau 4). Les contrastes dans l'ANOVA indiquent aussi que les baissières sont plus efficaces à réduire les charges en nutriments durant les périodes de dégel et de croissance de la culture, par rapport à l'hiver (Tableau 4). Pourtant, les observations présentées aux Figure 11b et Figure 11c indiquent une performance des baissières aussi bonne à l'hiver qu'aux autres périodes, sauf en 2013 où la baissière unique avait produit des volumes de ruissellement plus élevés que les témoins. Les charges en N total dissous à la sortie de BVFs se sont principalement manifestées en 2013 après les épandages plus intensifs réalisés en 2012 (Figure 12 et Figure 13a). Comme pour les volumes d'eau ruisselés, la présence d'une baissière a réduit les charges en N total dissous de 35 à 72% selon l'année (Figure 13b), tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 56 à 86% en moyenne annuellement (Figure 13c).

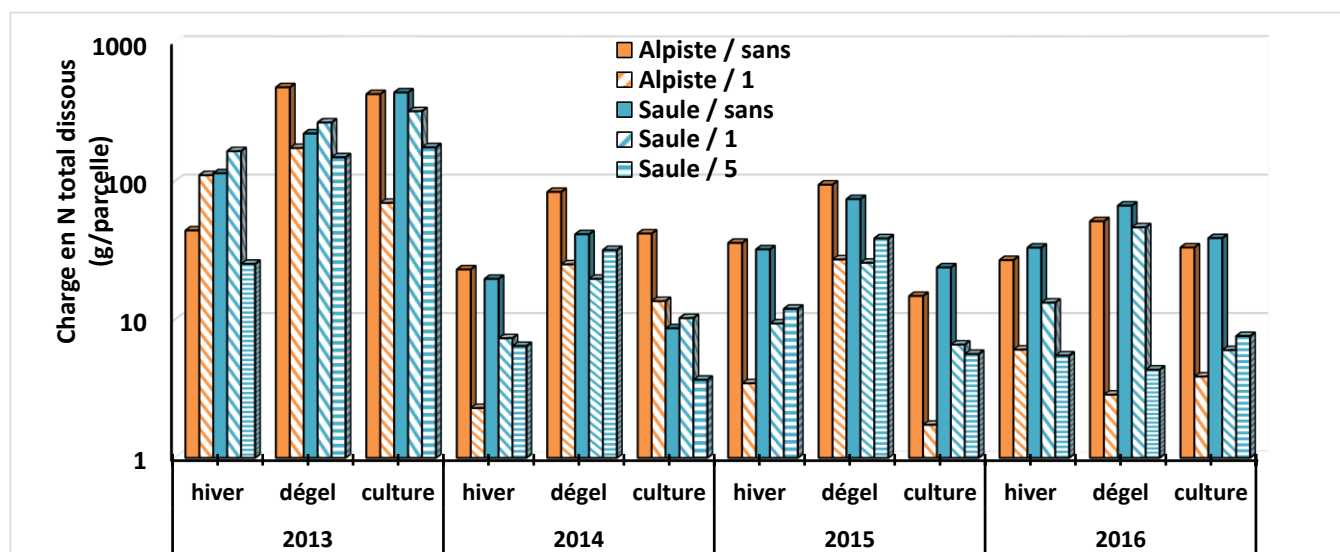


Figure 12 : Charges en N total dissous à la sortie des BVFs d'alpieste ou de saule avec ou sans baissière.

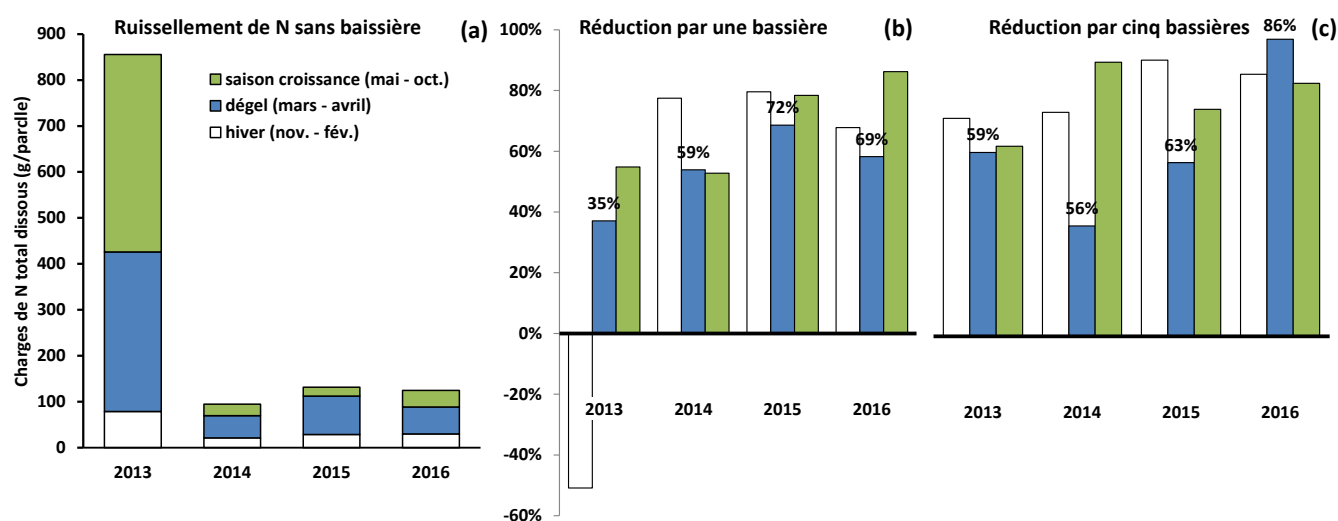


Figure 13 : Charges en N total dissous ruisselées à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction de la charge engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).

Comme pour l'azote, les charges de P total (persulfate) à la sortie des BVFS étaient aussi plus importantes en 2013 par rapport aux années subséquentes en raison des épandages plus intensifs réalisés en 2012 (Figure 14 et Figure 15a). La présence d'une baissière a aussi réduit les charges en P total de 35 à 88 % selon l'année (Figure 15b), tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 80 à 94 % (Figure 15c). Ces réductions de charges semblent se manifester davantage à l'hiver et durant la saison de croissance (culture), plutôt qu'au dégel sauf en 2013, où les réductions de charges ont été beaucoup moins importantes à l'hiver avec une baissière.

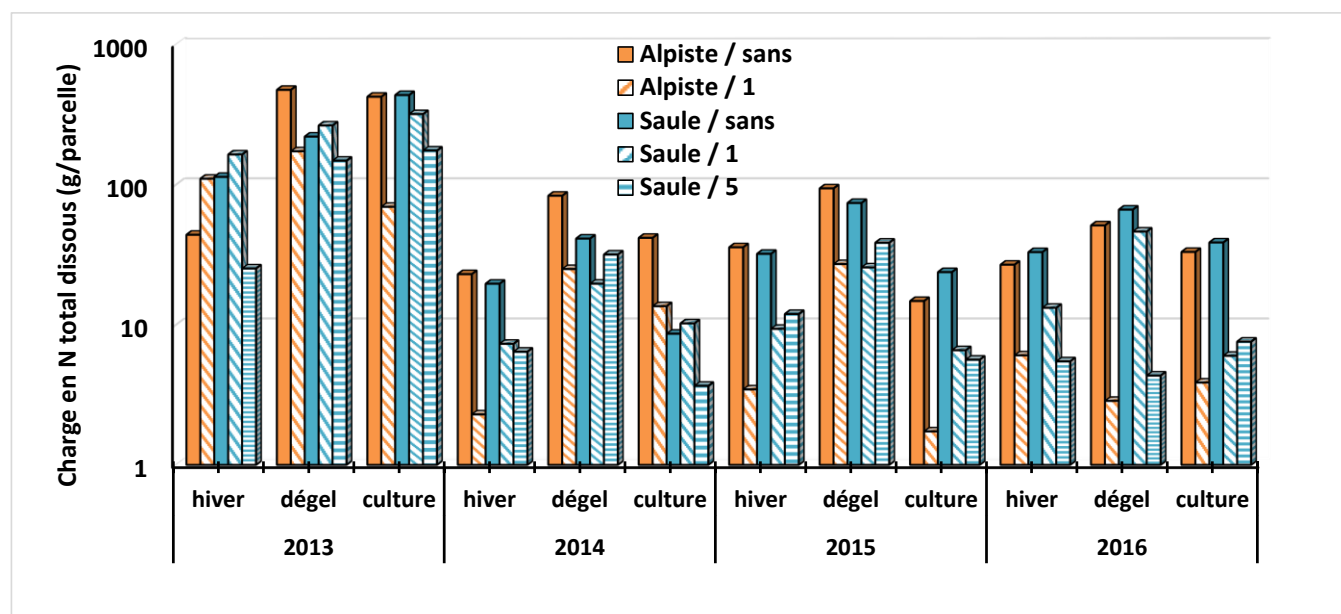


Figure 14 : Charges en P total à la sortie des différents BVFs d'alpiste ou de saule avec ou sans baissière.

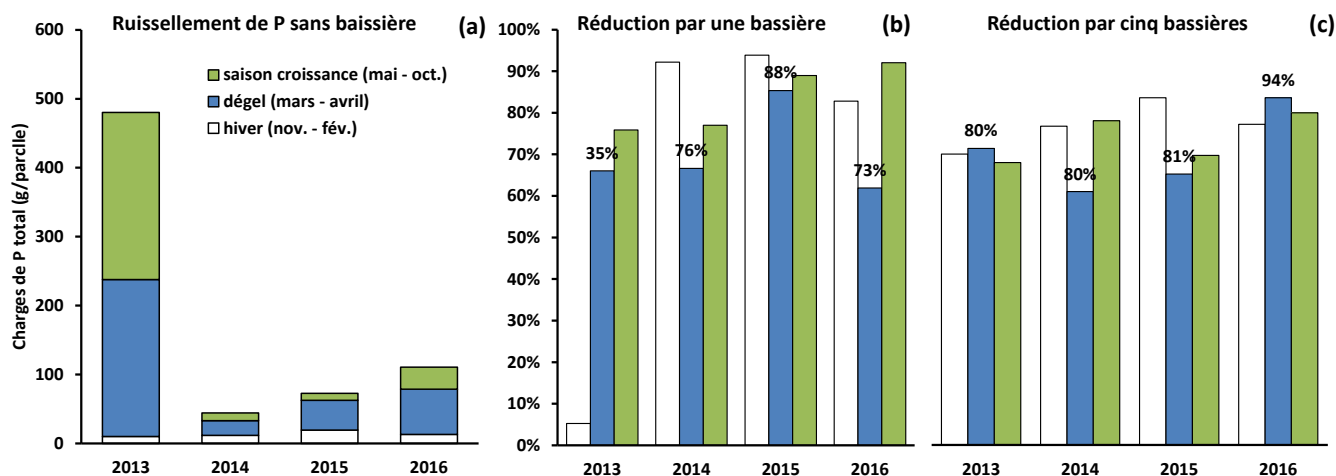


Figure 15 : Charges en P total ruisselées à la sortie des BVFs sans baissières (a), et réduction de la charge engendrée par une baissière (b) ou cinq baissières (c).

L'Annexe 4 et l'Annexe 5 présentent le ruissellement et les valeurs moyennes saisonnières des charges et des concentrations moyennes pondérées des différents éléments nutritifs mesurés à chaque année et analysés statistiquement dans ce rapport (N, P, K, et Ca). Ces Annexes présentent également en dernière colonne, les moyennes annuelles de tous ces paramètres pour les cinq traitements. Le Tableau 6 présente ces mêmes moyennes ainsi que celles pour les BVFs d'alpiste et de saule sans baissières, avec une baissière et la BVF de saule avec cinq baissières.

Tableau 6 : Ruissellement, charges et concentrations moyennes pondérées des éléments nutritifs produits à la sortie des cinq BVFs à l'étude.

	Ruissel- lement (mm)	Charges (g/parcelle)								
		MES	N total dissous	N-NH ₄	N-NO ₃	P total	P total dissous	P réactif	K	Ca
Alpiste / sans	354	1084	336	129	131	192	192	183	784	566
Alpiste / 1	108	276	110	27	65	28	26	25	172	243
Saule / sans	341	1072	277	76	128	168	167	157	912	567
Saule / 1	189	528	223	48	131	70	68	64	497	468
Saule / 5	124	439	116	23	69	32	30	28	258	326
Sans baissière	348	1078	306	102	130	180	179	170	848	567
Une baissière	148	402	166	38	98	49	47	45	335	355
Cinq baissières	124	439	116	23	69	32	30	28	258	326
		Concentration moyennes pondérées (mg/litre)								
		MES	N total dissous	N-NH ₄	N-NO ₃	P total	P total dissous	P réactif	K	Ca
Alpiste / sans		19,1	5,9	2,3	2,3	3,39	3,38	3,23	13,8	10,0
Alpiste / 1		4,9	1,9	0,5	1,1	0,49	0,47	0,44	3,0	4,3
Saule / sans		18,9	4,9	1,3	2,3	2,96	2,95	2,77	16,1	10,0
Saule / 1		9,3	3,9	0,8	2,3	1,23	1,21	1,13	8,8	8,3
Saule / 5		7,7	2,0	0,4	1,2	0,56	0,53	0,49	4,5	5,8
Sans baissière		19,0	5,4	1,8	2,3	3,18	3,17	3,00	15,0	10,0
Une baissière		7,1	2,9	0,7	1,7	0,86	0,84	0,79	5,9	6,3
Cinq baissières		7,7	2,0	0,4	1,2	0,56	0,53	0,49	4,5	5,8

En moyenne annuellement, la présence d'une seule baissière ou de cinq petites baissières a réduit de plus de 50 % le ruissellement, les charges et les concentrations de la plupart des éléments nutritifs mesurés à la sortie des BVFs. Par exemple, la présence d'une baissière et de cinq baissières ont réduit respectivement de 200 et 224 mm les volumes d'eau ruisselés à la sortie de ces BVFs par rapport aux BVFs sans baissière qui en moyenne ont produit 348 mm de ruissellement. La présence d'une baissière et de cinq baissières ont réduit respectivement à 7,1 et 7,7 mg/litre les concentrations moyenne pondérées des matières en suspension (MES) à la sortie de ces BVFs, comparativement à 19,0 mg/litre de MES dans les BVFs sans baissière. Pour l'azote total dissous, la présence d'une baissière et de cinq baissières ont réduit les concentrations respectivement à 2,9 et 2,0 mg/litre, par rapport à 5,4

mg/litre dans les BVFs sans baissière. Pour le phosphore total, la présence d'une baissière et de cinq baissières ont réduit les concentrations respectivement à 0,86 et 0,56 mg/litre, par rapport à la concentration initiale de 3,18 mg/litre mesurée dans les BVFs sans baissière.

Pour ce qui est des différentes formes d'azote et de phosphore mesurées à la sortie des BVFs, une grande part de ces formes étaient minérales, très solubles et bio-disponibles pour la croissance des algues et des végétaux. L'azote total dissous était majoritairement constitué d'azote ammoniacal (N-NH_4) et de nitrate (N-NO_3), tandis que le P total et le P total dissous étaient en majeure partie (plus de 90 %) constitués d'orthophosphates (P réactif) très bio-disponibles. La présence de baissières a permis de réduire de plus de 80 % les concentrations des différentes formes de P, mais comme dans la première phase de l'étude (Gasser et al., 2014), ces concentrations ne respectaient toujours pas le critère reconnu par le MDDELCC, soit de 0,03 mg/litre de P total pour la protection de la vie aquatique (MDDEFP, 2013). En fait, les concentrations moyennes pondérées de 0,86 et 0,56 mg/litre de P total à la sortie des BVFs avec une baissière ou cinq baissières sont encore 20 à 30 fois plus élevées que ce critère.

4.5 TRANSPOSITION DES RÉSULTATS À L'ÉCHELLE D'UN ENCLOS D'HIVERNAGE POUR UN ÉLEVAGE DE VACHES DE BOUCHERIE

Supposons un enclos d'hivernage pour 60 vaches occupant une surface de 6000 m² (100 m²/vache) avec une largeur de 150 m par 40 m de profondeur. Les baissières et risbermes devraient ceinturer l'écoulement provenant de l'enclos à la sortie, donc dans la partie amont de la bande végétative filtrante (Figure 16). Cette bande végétative et la baissière devraient être un peu larges que l'enclos, soit d'une longueur d'environ 200 m. Aucun drain agricole ne devrait passer dans la bande végétative filtrante, sans quoi la baissière serait inefficace.

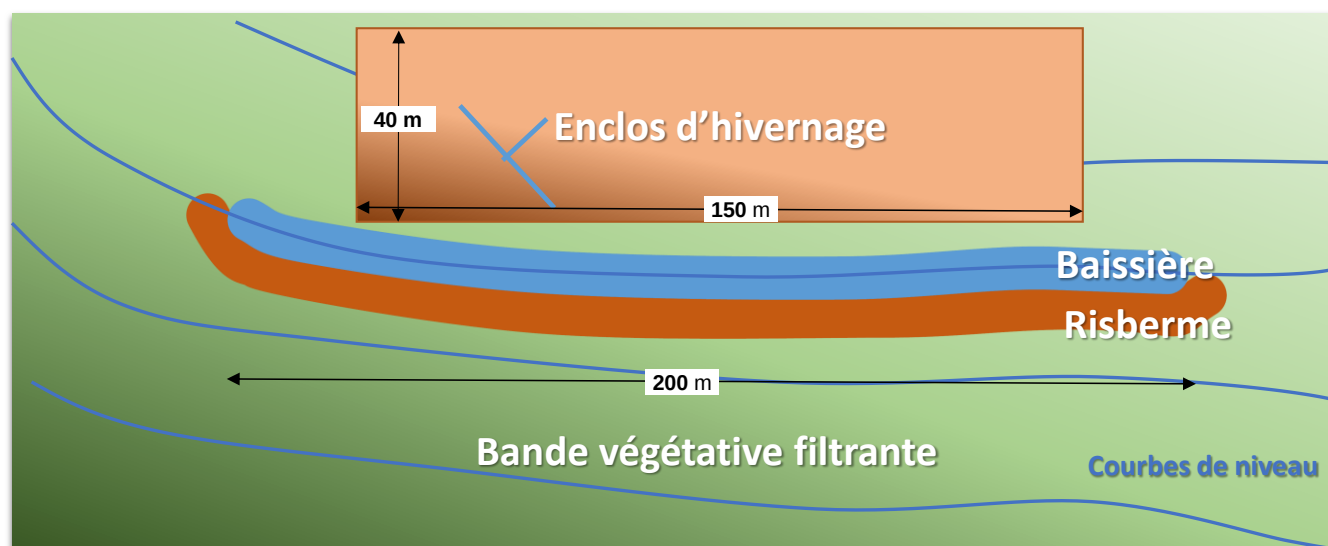


Figure 16 : Emplacement de la baissière et risberme dans la BVF à la sortie de l'enclos d'hivernage

4.5.1 Baissière unique avec risberme (Scénario 1)

La baissière unique devrait être large et sans exutoire pour faciliter la mécanisation des opérations d'implantation et d'entretien de la baissière. Elle serait aussi composée d'une seule risberme épousant les courbes de niveau à la sortie de l'enclos. Les dimensions de la baissière et de la risberme dépendront de la pente du terrain et de la surface de l'enclos, mais cette baissière devrait viser à capter une lame d'eau ruisselant de l'enclos, équivalant à 50 mm de hauteur d'eau. Aucune ouverture dans la risberme ni avaloir ne permettrait à l'eau de s'échapper de la baissière, sinon que par-dessus ou à travers la risberme. Une végétation pérenne de graminées devrait limiter les risques d'érosion de la risberme.

Pour capter 50 mm de hauteur d'eau provenant d'un enclos de 6000 m², soit 300 m³ d'eau, la baissière unique et fermée aurait 200 m de long, 10 m de large et 30 cm de profondeur (Figure 17). La risberme en aval devrait avoir les mêmes dimensions que la baissière, mais renversées pour réduire les pentes et les risques d'érosion. L'alpiste roseau peut être implanté à un taux de 6 à 9 kg/ha en semis pur avant la mi-juin pour tirer parti de l'humidité dans le sol ou plus tard dans les baissières au moment où le sol se sera asséché. La graminée implantée devrait être récoltée périodiquement et une grande baissière unique ne devrait pas engendrer de difficulté à cet égard.

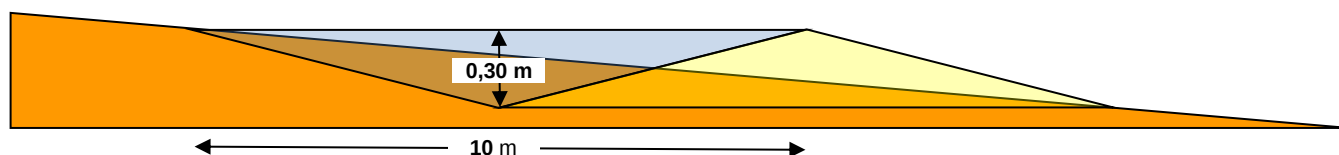


Figure 17 : Baissière unique

4.5.2 Petites baissières multiples avec billons (Scénario 2)

Les petites baissières multiples avec billons auraient 25 cm de profondeur et 1,85 m entre elles x 200 m de long. Pour capter 300 m³ d'eau à un instant donné, il faudrait compter entre 6 et 7 baissières/billons (Figure 18). Les billons devraient avoir la même dimension que les baissières, pour réduire les pentes et les risques d'érosion. Des ouvertures seraient pratiquées en alternance à l'extrémité des baissières/billons pour augmenter les parcours de l'eau. Si l'implantation d'une graminée sur billons et baissières de 1,85 m de large semble poser problème pour la récolte et l'entretien avec la machinerie disponible, un pâturage contrôlé pourrait assurer l'entretien de la prairie de graminées.

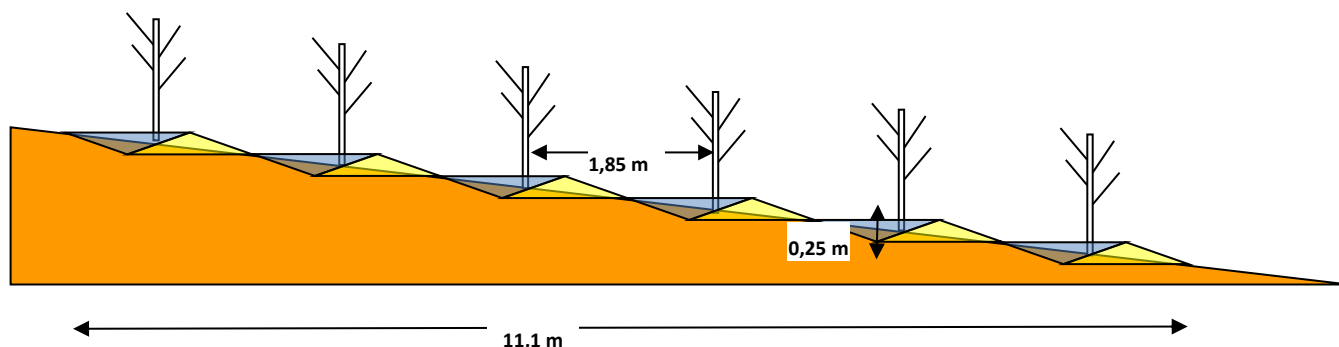


Figure 18 : Six baissières/billons en cascade

Le saule peut représenter une avenue plus intéressante dans la mesure où la machinerie pourrait mieux s'adapter à la récolte en rangée et où le producteur y voit un intérêt pour sa biomasse. Le saule serait alors implanté en rangée à mi-hauteur sur l'amont du billon. Dans le modèle de culture intensive du saule sur courtes rotations de 2 ou 3 ans, les sections de tiges de saule de 20 cm sont habituellement plantées à 30 cm de distance sur le rang au printemps, pour une densité d'environ 18 000 plants/ha.

4.5.3 Réduction de charges en nutriments escomptées pour un enclos d'hivernage de 60 vaches-veau

En se basant sur un enclos de 60 vaches-veau dimensionné à 100 m² par vaches-veau ou 6000 m², il est possible de calculer des réductions de charge en nutriments escomptées à la sortie des BVFs aménagées avec une baissière unique ou de petites baissières multiples avec billons et les résultats sont présentés pour ces deux types de baissières au Tableau 7. Une réduction annuelle de 200 à 224 mm de hauteur d'eau ruisselée à la sortie de ces aménagements d'une baissière ou six petites baissières, équivaldrait à une réduction de ruissellement de 1198 à 1343 m³ d'eau par rapport à un même enclos de 6000 m² sans baissières (Tableau 7). Les réductions de charges annuelles produites par ces deux aménagements correspondraient respectivement à 5,3 et 7,1 kg de N (N total dissous) et 4,9 et 5,6 kg de P total.

Tableau 7 : Réduction annuelle du ruissellement et des charges en éléments nutritifs escomptés à la sortie des BVFs en présence d'une ou de six plus petites baissières.

	Réduction du ruissellement (m ³)	Réduction de charges (kg)								
		MES	N total dissous	N-NH ₄	N-NO ₃	P total	P total dissous	P réactif	K	Ca
Une baissière	1198	25,4	5,3	2,4	1,2	4,9	5,0	4,7	19,2	7,9
Six baissières	1343	24,0	7,1	3,0	2,3	5,6	5,6	5,3	22,1	9,0

5 ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'analyse économique dans ce projet consistait à évaluer la rentabilité de l'utilisation de risbermes, de baissières et de cultures pérennes dans les bandes végétatives filtrantes en aval des enclos d'hivernage. Pour y arriver les coûts d'approvisionnements et des opérations culturales ont d'abord été évalués. Du côté du revenu, il faut considérer ceux associés à l'utilisation de l'alpiste roseau et du saule comme litière. On sait que depuis quelques années, la demande dépassant l'offre, le prix des litières a pris de l'importance. Cette voie de valorisation présenterait donc un potentiel de rentabilité économique.

5.1 MÉTHODE

L'analyse a consisté en premier lieu à estimer les coûts de l'installation et de l'entretien de deux types de baissières. À cet effet, deux scénarios sont retenus pour l'analyse économique et comparés au traitement témoin de la bande végétative filtrante (BVF) : une grande baissière avec risberme de 10 m de largeur en alpiste (scénario 1) et six petites baissières avec billons de 1,83 m de largeur en saule (scénario 2). Le détail de ces scénarios est présenté au Tableau 8.

Tableau 8 : Description des scénarios.

	Scénarios	
	1- Une seule baissière/ risberme d'alpiste de 10 m	2- Six baissières/ billons de saule au 6'
Nombre de baissières	1	6
Longueur (m)	200	200
Largeur (m)	10	1,83
Superficie (m ²)	2 000	2 196
Profondeur (m)	0,30	0,25
Rendement de l'alpiste (tm/ha)	6,3	
Rendement du saule (tm/ha) 1 ^{ère} récolte		9,66
Rendement du saule (tm/ha) 2 ^e récolte et suivantes		10,98

Cette évaluation repose sur certaines hypothèses. Tout d'abord, les rendements d'alpiste-roseau sont présumés de bon niveau car leur implantation en aval d'un enclos d'hivernage présente un excellent milieu pour la croissance de cette culture (Ce rapport; Gasser et al., 2014; Martel, 2017). Aussi, il est présumé que les producteurs de bovins disposent déjà de la machinerie nécessaire pour cultiver cette culture. Ce n'est pas le cas cependant pour la culture de saule et pour ce type d'aménagement, l'hypothèse est que l'éleveur de bovins de boucherie ferait faire ces travaux à forfait. Toutefois, il est possible que cette hypothèse ne corresponde pas à la réalité au sens où les travaux à réaliser dans ces aménagements ne sont peut-être pas assez importants pour justifier qu'une entreprise à forfait s'y déplace. Une dernière remarque concerne le coût des boutures pour la culture du saule. La section sur les résultats a démontré que ce coût nuit considérablement à la marge de

rentabilité de cette culture. Une avenue possible pour réduire ces coûts serait que le producteur en produise une petite quantité dans un premier temps afin de produire ses propres boutures à implanter dans la baissière.

5.1.1 Valeur économique des cultures

Une valeur économique a été attribuée aux cultures d'alpiste roseau et de saules produites pour la litière. Cette valeur économique peut se traduire par des économies d'achat de litière ou encore, par la vente de cette litière. Pour l'alpiste-roseau, la valeur économique de la paille a été estimée à 100 \$/tm (CECPA, 2016). Pour le saule, celui-ci serait transformé en copeaux qui serviraient comme litière et la valeur économique attribuée aux copeaux est de 108,55 \$/tm de matière sèche. Cette valeur est tirée des *Références économiques* du Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ, 2011) indexée pour 2015.

5.1.2 Coûts

Pour l'ensemble des scénarios, les coûts des opérations culturales sont tirés des *Références économiques* du CRAAQ (2008, 2014, 2016b). Les références de coûts quant aux approvisionnements proviennent aussi du CRAAQ (2008, 2016a), ainsi que d'un fournisseur de boutures pour le saule (SalixSaule, 2011). Les données techniques et agronomiques sont tirées du projet, à l'exception de quelques éléments. Entre autres, pour le scénario 1, bien que le taux de semis utilisé dans le projet était de 16 kg/ha, celui retenu dans l'analyse économique est plutôt de 9 kg/ha, sur la base de références connues (MAAARO, 2009; Bittman et al. 1988) et avec l'accord de l'équipe de recherche. Finalement, les coûts d'excavation sont amortis sur une période de 25 ans, au bout de laquelle les baissières doivent être renouvelées.

5.1.3 Actualisation

Puisque les cultures d'alpiste-roseau et de saule sont des cultures pérennes, l'analyse a été menée en considérant une période de 25 ans et les coûts et les revenus sont actualisés afin de calculer la marge actualisée nette (MAN). Le taux d'escompte utilisé est de 1,5 % et ce taux relativement bas s'explique par le contexte des bas taux d'intérêt. Or, dans une perspective de temps de 25 ans, il y a peu de chance que les taux d'intérêt demeurent aussi bas.

5.2 RÉSULTATS

5.2.1 Baissière d'alpiste avec une risberme

Le Tableau 9 présente les coûts d'implantation et d'opération de la culture d'alpiste roseau dans une baissière selon le scénario 1 du Tableau 8. Le coût total d'implantation pour un tel aménagement s'élèverait à 2 262,69 \$, mais dépendrait en large partie des coûts reliés aux travaux d'excavation (1 1443,75 \$) et aux services professionnels (740,00 \$) comprenant le plan et la supervision des travaux. Les coûts d'opérations (récolte) se situent à 104,34 \$/ha annuellement pour l'aménagement.

Tableau 9 : Ventilation des coûts d'implantation et d'opération de l'aménagement du scénario 1.

Coûts d'implantation	(\$/aménagement)
Semence d'alpiste roseau	27,58 \$
Excavation de la baissière – pelle hydraulique	1 1443,75 \$
Semis de l'alpiste roseau	51,36 \$ ^a
Services professionnels (plan et supervision des travaux)	740,00 \$
Total	2 262,69 \$
Coûts d'opération	(\$/aménagement)
Récolte – faucheuse conditionneuse à disques	31,89 \$ ^a
Récolte – presse à petites balles rectangulaires	72,45 \$ ^a
Total	104,34 \$

a. Pour cet item, le montant est calculé pour un hectare afin de tenir compte du coût minimum qu'un opérateur à forfait devrait chargé.

Les coûts et la valeur économique de la paille d'alpiste-roseau sont rapportés au Tableau 10 pour une période de 25 ans. Les coûts annuels à partir de la deuxième année se limitent aux coûts de récolte. La marge actualisée nette (MAN) est calculée sur la base d'un taux d'escompte de 1,5 %. L'aménagement du scénario 1 procure une MAN négative de 1 807,17 \$ par aménagement. La MAN négative s'explique principalement par les coûts d'implantation élevés. Par la suite, les flux actualisés sont toujours positifs, bien que relativement minimes.

Tableau 10 : Marge actualisée nette de l'aménagement du scénario 1

	Coûts d'implantation et d'opération de l'aménagement	Valeur économique de la valorisation de l'alpiste roseau	Marges actualisées nette de l'aménagement d'une risberme avec alpiste
	\$/aménagement		
1 ^{ère} année ^a	2 367,03 \$	126,00 \$	(2 241,03 \$)
2 ^e année ^b	104,34 \$	126,00 \$	21,34 \$
...	...	...	...
25 ^e année	104,34 \$	126,00 \$	15,15 \$
Montants totaux^c	4 871,19 \$	3 150,00 \$	(1 807,17 \$)

a) 1^{ère} année : Coûts de la semence et semis de l'alpiste, excavation de la baissière, services professionnels.

b) 2^e année et suivantes : Coûts de la récolte de l'alpiste-roseau.

c) Les coûts annuels, la valeur économique annuelle et leurs totaux ne sont pas actualisés, mais la marge l'est. C'est ce qui explique que la marge actualisée ne soit pas le résultat de la différence entre la valeur économique et les coûts non-actualisés.

Si le taux d'escompte était plus élevé, la MAN serait davantage négative. Voir détails à la section 5.1.3 Actualisation ci-dessus.

5.2.2 Baissières de saule avec billons

Les Tableau 11 et Tableau 12 rapportent les mêmes résultats que précédemment, mais relativement à l'aménagement du scénario 2. C'est cet aménagement qui présente les coûts d'implantation les plus élevés à 2 939,14 \$ par aménagement. Le poste de dépenses le plus important dans les coûts d'implantation est l'achat des boutures de saule en début de période. En fait, ce poste représente deux tiers des coûts d'implantation de la baissière avec saules. Pour ce qui est des coûts d'opération à 448,49 \$, ils sont près de cinq fois plus élevés que pour l'autre aménagement.

Tableau 11 : Ventilation des coûts d'implantation et d'opération de l'aménagement du scénario 2.

Coûts d'implantation	(\$/aménagement)
3 953 boutures de saule (0,50 \$ de la bouture)	1 976,40 \$
Billonnage – sarcleur-billonneur	31,74 \$ ^a
Plantations des boutures – à forfait	191,00 \$ ^a
Services professionnels (plan et supervision des travaux)	740,00 \$
Total	2 939,14 \$
Coûts d'opération	(\$/aménagement)
Récolte – à forfait	245,05 \$ ^a
Récolte – transport sur la ferme – à forfait	203,44 \$ ^a
Total	448,49 \$

a. Pour ces items, le montant est calculé pour un hectare afin de tenir compte du coût minimum qu'un opérateur à forfait devrait chargé.

Tableau 12 : Marge actualisée nette de l'aménagement du scénario 2.

		Coûts d'implantation et d'opération de l'aménagement	Valeur économique de la valorisation du saule	Marges actualisées de l'aménagement de billons avec saule
		\$/aménagement		
1 ^{ère} année ^a	Implantation	2 939,14 \$	-	-
2 ^e et 3 ^e année ^b	Croissance	-	-	-
4 ^e année ^c	Récolte + billonnage	480,23 \$	602,96 \$	117,37 \$
5 ^e et 6 ^e année ^b	Croissance	-	-	-
7 ^e année ^c	Récolte + billonnage	480,23 \$	685,18 \$	187,44 \$
...	...	...	...	...
Montants totaux^d		6 780,98 \$	5 399,25 \$	(1 669,65) \$

a) 1^{ère} année : Coûts de la bouture, de la plantation du saule, du billonnage et des services professionnels

b) 2^e, 3^e, 5^e, 6^e années et suivantes : Années de croissance sans coûts

c) 4^e, 7^e années et suivantes : Récolte du saule, transport à la ferme et billonnage.

d) Les coûts annuels, la valeur économique annuelle et leurs totaux ne sont pas actualisés, mais la marge l'est. C'est ce qui explique que la marge actualisée ne soit pas le résultat de la différence entre la valeur économique et les coûts non-actualisés.

La marge actualisée du scénario 2 avec saules est légèrement meilleure que celle du scénario 1, bien que négative également. La meilleure valeur économique des copeaux de saule qui seraient vendus ou utilisés comme litière explique ce résultat.

5.3 DISCUSSION

L'analyse économique a permis d'évaluer le potentiel de rentabilité des bandes végétatives filtrantes ensemencées en alpeste-roseau ou en saule et ce, selon que l'aménagement soit complété avec une seule grande baissière et sa risberme ou une multitude de petites baissières avec billons. Dans la mesure où l'alpeste-roseau et le saule peuvent être valorisés comme litière (vendu ou utilisé à la ferme) dans la partie baissière, cette voie de valorisation aide à la rentabilité. Toutefois, les coûts d'implantation font que la MAN est négative dans les deux cas d'aménagements dans une perspective de temps de 25 ans. Ainsi, pour que les producteurs soient incités à planter et entretenir ces types d'aménagement, un partage des coûts d'implantation pourrait être bénéfique.

6 CONCLUSION

Le présent projet visait à poursuivre l'acquisition de données et de connaissances sur des aménagements de BVFs avec baissières, de l'été 2013 à la fin de 2016, dans des cultures plus matures de saule et d'alpiste, soit jusqu'à 6 ans après leur implantation en juin 2010. Des épandages de lisiers de porc et de bovins ont été réalisés en amont des bandes végétatives filtrantes à plusieurs reprises en 2013, 2014 et 2015 pour simuler des charges contaminantes en provenance d'enclos d'hivernage. Les 13,4 kg de N et 2,7 kg de P apportés annuellement en moyenne par parcelle étaient une approximation raisonnable des charges produites par des élevages bovins dans des enclos d'hivernage améliorés. Toutefois, la répartition des charges a été relativement inégale avec des charges près de quatre fois plus importantes en 2012, par rapport aux autres années du projet.

De 2011 à 2016, l'alpiste roseau a produit en moyenne annuellement 5,7 tm/ha de matière sèche (MS), avec un maximum de productivité atteint entre sa troisième et quatrième année de production (2013-2014). La productivité du saule n'a quant à elle pas cessé d'augmenter, présentant toutefois un léger ralentissement de productivité en 2016 à son troisième cycle de récolte. Sa productivité annuelle est passée de 4 tm/ha en 2012, à 19 tm/ha en 2014 et à 25 tm/ha en 2016 pour une production annuelle moyenne sur 6 ans de 16 tm MS/ha. En lien avec cet accroissement de productivité, le saule a exporté 24 % plus d'azote dans sa biomasse récoltée et 13 % plus de phosphore que l'alpiste roseau. L'alpiste a toutefois exporté deux fois plus de potassium et à l'inverse quatre fois moins de calcium que le saule, en lien avec la composition herbacée ou lignifiée des deux biomasses exportées. La présence de baissière semble avoir favorisé quelque peu les performances agronomiques de l'alpiste et du saule, sans toutefois produire de différence significative en termes statistiques.

L'échantillonnage des sols réalisés en 2012 et 2016 révèle qu'en moyenne les teneurs en N-NO₃, P-M3, K-M3, Mg-M3 et Na-M3 et P/Al M3 tendaient à être plus faibles dans le sol sous l'alpiste par rapport au saule, mais le K-M3 et l'indice de saturation en P (P/Al-M3) présentaient les effets les plus significatifs. Les teneurs plus faibles mesurées dans le sol sous l'alpiste par rapport au saule étaient directement en lien avec les exportations quatre fois plus importantes de K dans la biomasse d'alpiste. L'analyse de variance a aussi révélé des effets importants de l'année et de la position d'échantillonnage amont-aval dans la bande végétative sur la plupart des teneurs en éléments fertilisants (P-M3, K-M3, Mg-M3, Na-M3, Cu-M3, Zn-M3). Ces dernières ont toutes augmenté significativement dans le sol de 2012 à 2016, tandis que les teneurs en carbone (C. org), N-NO₃ et N-NH₄ ont plutôt accusé une baisse. Certaines de ces teneurs (P-M3, K-M3 et Mg-M3) ont plus particulièrement augmenté en amont dans la bande végétative. Les comparaisons Saule vs Alpiste en fonction de l'année et de la position dans la BVF révèlent quant à elles des augmentations au cours du temps des teneurs en N-NO₃, P-M3, K-M3, Mg-M3 et Cu-M3 en amont dans les bandes végétatives de saule par rapport à celles en alpiste.

Que ce soit dans l'alpiste ou le saule, la présence de baissières a eu un effet très important pour réduire les volumes d'eau ruisselés à tout moment de l'année, soit durant l'hiver (nov.-fév.), la fonte des neiges –dégel (mars-avril) ou la culture (mai-oct.) de 2013 à 2016. Une plus grande part de ce ruissellement a été observée durant la période du dégel. L'aménagement d'une grande baissière dans les BVFs de saule et d'alpiste a réduit le ruissellement de 35 % à 69 % de 2013 à 2016, tandis que la présence de cinq petites baissières dans le saule a réduit ce ruissellement de 49 % à 81 %. Les charges en N total dissous à la sortie de BVFs se sont principalement manifestées en 2013 après les épandages plus intensifs réalisés en 2012. Comme pour les volumes d'eau ruisselés,

la présence d'une baissière a réduit au fil des années les charges en N total dissous de 35 à 72%, tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 56 à 86 % en moyenne annuellement. Comme pour l'azote, les charges de P total à la sortie des BVFS étaient plus importantes en 2013 et la présence d'une baissière a réduit au cours du temps les charges en P total de 35 à 88 %, tandis que la présence de cinq plus petites baissières a réduit ces charges de 80 à 94 %. Toutefois, malgré ces réductions effectives de charges et de concentrations avec l'aménagement de baissières, les concentrations moyennes pondérées de P total (en grande partie sous forme d'orthophosphates très bio-disponibles) demeuraient près 20 à 30 fois supérieures au critère généralement retenu pour la protection de la vie aquatique (30 µg /litre).

En transposant les résultats de ces essais en dispositif expérimental à un enclos pour 60 vaches-veau dimensionné à 100 m² par vaches-veau soit 6000 m² ou 150 m de long x 40 m de large, il est possible de calculer des réductions de charge en nutriments escomptées à la sortie des BVFS aménagées avec une baissière unique ou de petites baissières multiples avec billons. Ces baissières avec leur risberme auraient 200 m de long et 10 m de large pour capter environ 50 mm d'hauteur d'eau. La baissière unique aurait 30 cm de profond, tandis que les baissières multiples avec billons auraient 25 cm de profondeur et seraient intercalées de 1,83 m. Une réduction de 200 à 224 mm de hauteur d'eau ruisselée à la sortie de ces aménagements d'une baissière ou six petites baissières pour un enclos de 6000 m², équivaldrait à une réduction de 1198 à 1343 m³ d'eau par rapport à un même enclos sans baissière. Les réductions de charges annuelles produites par ces deux aménagements correspondraient respectivement à 5,3 et 7,1 kg de N (N total dissous) et 4,9 et 5,6 kg de P total.

L'analyse économique a permis d'évaluer le potentiel de rentabilité des bandes végétatives filtrantes ensemencées en alpeste-roseau ou en saule et ce, selon que l'aménagement soit complété avec une seule grande baissière et sa risberme ou une multitude de petites baissières avec billons. Dans la mesure où l'alpeste-roseau et le saule peuvent être valorisés comme litière (vendu ou utilisé à la ferme) dans la partie baissière et que le producteur pourrait bénéficier d'un partage des coûts d'implantation, les aménagements analysés pourraient présenter une perspective de rentabilité. L'analyse a relevé des coûts plus importants liés à l'excavation d'une grande baissière de 10 m de large comparativement à la production de petites baissières de moins de 2 m avec une billonneuse. Les coûts d'implantation du saule sont également plus importants par rapport à l'alpeste, mais sa production plus importante de biomasse permettrait de rentabiliser davantage cette plantation, s'il est possible de mécaniser les opérations de récoltes dans une culture sur billons et de réduire les coûts d'achat des boutures. Cela dit, la bande végétative filtrante avec une baissière en alpeste-roseau et celle de saule sur billons/baissières multiples présente des perspectives intéressantes en termes économiques (si les coûts d'implantation sont partagés) et d'efficacité pour l'atténuation des charges contaminantes dans la bande végétative filtrante.

RÉFÉRENCES

- Bittman, S., J. Waddington, B.E. Coulman et S.G. Bonin. 1988. *Alpiste roseau – un guide de production*. Publication 805/F. Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC), 28 pages.
- Carter M.R. et Gregorich E.G., 2007. *Soil sampling and methods of analysis*. 2^e éd. CRC Press, Boca Raton, FL. 1262 p.
- Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2016. *Étude sur les coûts de production des secteurs céréales, maïs-grain et oléagineux 2014*. CECPA, 69 pages.
- Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) :
- 2008. *Saule à croissance rapide pour production de copeaux – Budget d'entreprise (AGDEX 388/821)*. CRAAQ. 8 p.
 - 2011. *Raboture ou sciure pour litière – Prix (AGDEX 400.27/855)*. CRAAQ, 2 p.
 - 2014. *Machinerie – Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825)*. CRAAQ. 25 p.
 - 2016a. *Grains de semences – Prix (AGDEX 100.45/855)*. CRAAQ. 3 p.
 - 2016b. *Machinerie lourde – Taux horaire de location (AGDEX 755)*. CRAAQ. 7 p.
- CEAEQ, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec 2008. *Détermination des solides en suspension totaux et volatils dans l'eau : méthode gravimétrique*, MA. 104-S.S.1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2008, 10 p.
- Côté, N. et R. Saint-Cyr. 2012. *Évaluation et amélioration de la gestion agroenvironnementale des enclos d'hivernage et des bandes végétatives filtrantes*. Projet CDAQ no 6380. Fédération des producteurs de bovins du Québec. 49 p. +Annexes.
- Côté, N., A. Gagnon, G. Lapointe, N. Laroche, H. Martel, R. Lagacé, R. Potvin 2014. *Le guide des aménagements alternatifs en production bovine : Conception, gestion, suivi*. FBBQ et MAPAQ. ISBN 978-2-9814504-1-8. 99 p. +Annexes.
- CPVQ. 1997. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux*. Conseil des productions végétales du Québec. Agdex 533. ISBN 2-551-12019-5.
- Eaton, A.D., L.S. Clesceri, E.W. Rice et A.E. Greenberg. 2005. *Standard methods for examination of waste and wastewater*, 21th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. ISBN 0-87553-047-8.
- FPBQ, 1999. *Le Guide des bonnes pratiques agroenvironnementales pour la gestion des fumiers des bovins de boucherie*. FPBQ, MAPAQ et MEQ. Envirodoq EN981494.
- Gagnon, Alain. 2016. MAPAQ. (Communication personnelle, décembre 2016)
- 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, Québec. 54 p. + annexes.
- Gasser, M.O., M.H. Chantigny, D.A. Angers, S. Bittman, K.E. Buckley, P. Rochette, et D. Massé. 2011. *Plant available and water-soluble P in soils amended with separated manure solids*. J. Environ. Qual. 41 :1290-1300.

- Greenberg, A.E., L.S. Clesceri et A.D. Eaton. 1992. Standard Methods for examination of waste and waste water, 18th Edition. ISBN 0-87553-207-1.
- Hivon, J.-P., M. Bournival, et C. Ferron. 2007. Implantation d'une technologie inexploitée dans notre région : « Culture sur billons en régie biologique ». Rapport déposé dans le cadre du Programme de soutien au développement de l'agriculture biologique. Groupe Envir-Eau-Sol inc., 32 pages.
- Hoskins, B., Wolf, A.M. et Wolf, N. 2003. 2. Dry mater analysis. pp. 14-18. dans Peters, J., Combs, S.M., Hoskins, B., Jarman, J., Kover, J.L., Watson, M.E. Wolf, A.M., Wolf, N. 2003. Recommended methods of manure analysis (A3769). Univ. Wisconsin-Ext. 58 p.
- Indice des prix des entrées dans l'agriculture – Tableau 328-0015 (2015), sur le site de Statistique Canada. <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=fra&retrLang=fra&id=3280015&pattern=&stByVal=1&p1=1&p2=31&tabMode=dataTable&csid> Consulté le 20 janvier 2017.
- Isaac, R.A., et Johnson W.C., 1976. Determination of total nitrogen on plant tissues using a block digester. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 59: 98-100.
- Martel, Huguette. 2017 MAPAQ. (Communication personnelle, décembre 2016)
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO). 2009. Guide agronomique des grandes cultures. Publication 811F. MAAARO.
- MDDEFP, 2013. Critère de la qualité de l'eau de surface. 3e Édition. Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement. 510 p. et 16 annexes. Consultation en ligne : http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf
- Pelletier, F., S. Godbout, H. Georg et L. Belzile. 2016. Amélioration de l'efficacité environnementale des aires d'hivernage : validation d'un nouveau concept - Année supplémentaire d'expérimentation. Rapport final IRDA. 42 pages et annexes
- Pelletier, F., S. Godbout et R. Joncas. 2008. Étude environnementale des enclos d'hivernage de vaches-veaux : analyses complémentaires. Rapport final. Révision # 00. IRDA. 69 p.
- SalixSaule. 2011. Prix des boutures de Miyabeana sur le site SalixSaule. Consulté le 16 janvier 2017. http://www.salixsaule.com/product.php?id_product=66
- SAS Institute Inc (2003). SAS/STAT® User's guide, Version 9.1. Cary, NC.
- Tran, T. Sen, M. Giroux, J. Guilbeault et P. Audesse. 1990. Evaluation of Mehlich-III Extractant to Estimate the Available P in Quebec Soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 21 : 1-28.
- Yu, S.L. J.-T. Kuo, E.A. Fassman, et H. Pan. 2001. Field test of grassed-swale performance in removing runoff pollution. J. Water Ressources Planning and Manag. 127(3): 168-171.

ANNEXE 1

Photos illustrant la croissance du saule dans les BVFS avec baissières au troisième cycle de production (2015).



Cinq petites baissières 21 avril 2015



Cinq petites baissières 14 mai 2015



Une baissière 14 mai 2015



Saule le 5 juin 2015



Saule le 21 juillet 2015



Saule le 9 sept. 2015

Photos illustrant la croissance du saule dans les BVFS avec baissières au troisième cycle de production (2016).



Saule le 20 juillet 2016



Une baissière de saule le 20 juillet 2016



Cinq petites baissières de saule le 20 juillet 2016



Cinq petites baissières de saule le 24 octobre 2016



Cinq petites baissières de saule le 24 octobre 2016



Cinq petites baissières de saule le 16 nov. 2016

Photos illustrant la croissance de l'alpiste roseau dans les BVFS avec une baissière en 2015.



Une baissière en alpiste roseau le 30 avril 2013



Une baissière en alpiste roseau le 3 juin 2013



Une baissière en alpiste roseau le 3 juin 2013



Alpiste roseau le 12 août 2013



Une baissière (après récolte) le 17 sept. 2013



Une baissière (après récolte) le 17 sept. 2013

Photos illustrant la croissance de l'alpiste roseau dans les BVFS avec une baissière en 2015.



Une baissière en alpiste roseau le 21 avril 2015



Une baissière en alpiste roseau le 14 mai 2015



Une baissière en alpiste roseau le 14 mai 2015



Alpiste roseau le 21 juillet 2015



Alpiste le 21 juillet 2015



Baissière en alpiste (après récolte) le 9 sept. 2015

ANNEXE 2

Tableau 13 : Concentrations moyennes en éléments de l'alpiste roseau et du saule dans les bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.

		Concentration													
	Année	Matière sèche	C/N	N Total	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
		%		%	mg/kg										
Alpiste roseau	2011	0,366		1,07	2629	14434	4239	1716	88	17	7,7	170	119	102	48
	2012	0,427		1,00	2121	14805	1974	1248	33	23	5,2	80	84	43	24
	2013	0,357		1,78	2402	17845	2382	1539	88	24	7,3	102	58	81	51
	2014	0,416	28	1,55	2297	15454	1929	1206	142	31	14,8	169	51	79	57
	2015	0,375	46	0,99	2375	12823	2020	1140	120	22	8,3	108	72	74	16
	2016	0,333	26	1,72	3020	20734	3388	1932	80	8	9,0	68	60	41	27
Saule	2012	0,478		0,93	1108	2672	9950	727	31	31	5,2	34	68	174	31
	2014	0,470	73	0,67	975	2552	5819	563	20	35	5,5	32	48	113	36
	2016	0,476	90	0,53	900	2938	5773	485	19	7	6,9	18	36	105	16
2011-2016															
Alpiste roseau		0,379	33	1,35	2474	16016	2655	1464	92	21	8,7	116	74	70	37
Saule		0,475	81	0,71	995	2721	7181	591	23	25	5,9	28	51	131	28

Tableau 14 : Rendements et exportations en éléments de l'alpiste roseau et du saule dans les bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.

			Exportation en nutriment											
		Rendements	N Total	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	Année	tm/ha	kg/ha											
Alpiste roseau	2011	1,6	17	4,2	23	7	3	0,15	0,03	0,01	0,26	0,20	0,16	0,08
	2012	5,2	53	11,1	78	17	7	0,17	0,12	0,03	0,42	0,44	0,22	0,12
	2013	9,2	165	22,2	165	39	14	0,83	0,22	0,07	0,96	0,54	0,74	0,47
	2014	9,0	139	20,8	137	56	11	1,25	0,28	0,13	1,55	0,48	0,73	0,52
	2015	5,8	56	13,4	73	68	7	0,61	0,13	0,05	0,55	0,41	0,45	0,09
	2016	3,2	50	9,1	62	79	6	0,21	0,02	0,02	0,15	0,19	0,13	0,08
Saule	2012	7,5	70	8,3	20	74	5	0,23	0,23	0,04	0,25	0,50	1,31	0,23
	2014	37,7	253	36,7	96	292	21	0,74	1,31	0,21	1,25	1,82	4,18	1,35
	2016	50,9	273	46,0	150	588	25	0,97	0,38	0,38	0,92	1,82	5,34	0,83
2011-2016														
Alpiste roseau		5,7	80	13,5	90	44	7,8	0,54	0,13	0,05	0,65	0,38	0,40	0,23
Saule		16,0	99	15,2	44	159	8,5	0,32	0,32	0,10	0,40	0,69	1,80	0,40

Tableau 15 : Rendements et exportations bisannuels de l'alpiste roseau et du saule dans les différentes bandes végétatives filtrantes de 2011 à 2016.

Années	Traitement	Rendements tm/ha	Exportation en nutriment											
			N Total	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
			kg/ha											
2011-2012	Alpiste / sans	7,0	69	16,0	104	26	9	0,36	0,15	0,04	0,77	0,61	0,30	0,18
	Alpiste / 1	6,7	70	14,7	99	22	9	0,28	0,15	0,04	0,58	0,66	0,45	0,22
	Saule / sans	7,9	75	9,1	21	81	6	0,24	0,26	0,04	0,25	0,55	1,43	0,25
	Saule / 1	7,9	73	8,8	21	77	6	0,23	0,24	0,04	0,27	0,54	1,37	0,24
	Saule / 5	6,6	60	6,9	17	65	5	0,20	0,19	0,03	0,24	0,43	1,13	0,20
2013-2014	Alpiste / sans	17,4	292	41,9	291	97	25	1,15	0,49	0,19	1,52	0,89	1,26	0,85
	Alpiste / 1	19,1	316	44,1	315	94	25	3,02	0,51	0,21	3,50	1,14	1,69	1,13
	Saule / sans	36,0	237	35,1	90	292	20	0,74	1,40	0,20	1,30	1,70	4,36	1,34
	Saule / 1	38,1	267	39,1	101	297	22	0,77	1,41	0,20	1,18	1,99	3,95	1,42
	Saule / 5	39,0	256	35,8	97	288	21	0,71	1,13	0,22	1,28	1,76	4,21	1,29
2015-2016	Alpiste / sans	8,7	103	21,9	131	148	12	0,66	0,15	0,07	0,53	0,51	0,50	0,12
	Alpiste / 1	9,3	110	23,0	138	145	13	0,98	0,16	0,08	0,86	0,70	0,64	0,21
	Saule / sans	47,9	261	44,9	142	574	24	0,88	0,37	0,21	0,74	1,71	4,91	0,74
	Saule / 1	52,3	265	45,2	143	572	23	0,91	0,35	0,21	0,90	1,72	4,99	0,90
	Saule / 5	52,3	292	47,9	165	619	27	1,13	0,41	0,73	1,11	2,03	6,12	0,86

ANNEXE 3

Tableau 16 : Analyses de sol dans les bandes végétatives filtrantes en 2012 et 2016.

Date	Traite- ment	Position	pH	pH SMP	C/N	C Org. g/kg	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	P/Al
							mg/kg														%
19 novembre 2012	Alpiste témoin	Amont	6,1	6,8	11,6	13,94	1203	2,5	2,9	27	92	656	75	1046	0,2	1,7	339	31	2,1	13	2,7
		Aval	6,2	6,8	12,9	15,89	1233	2,9	2,1	30	79	728	82	975	0,3	2,0	327	32	2,3	11	3,0
		Moyenne	6,1	6,8	12,3	14,92	1218	2,7	2,5	29	85	692	78	1011	0,2	1,9	333	31	2,2	12	2,9
	Saufe sb	Amont	5,9	6,8	10,6	15,29	1447	3,6	11,6	38	155	705	103	953	0,3	2,1	330	42	2,0	22	4,1
		Aval	6,0	6,8	11,2	15,20	1357	1,9	3,4	26	106	716	96	943	0,2	1,8	331	44	1,9	14	2,8
		Moyenne	6,0	6,8	10,9	15,25	1402	2,7	7,5	32	131	711	99	948	0,2	1,9	331	43	2,0	18	3,4
	Alpiste/1	Amont	6,1	6,8	12,5	13,65	1097	3,3	6,0	22	82	674	89	1070	0,2	1,5	316	43	1,8	22	2,2
		Aval	6,1	6,7	11,9	14,25	1200	2,4	4,0	36	136	636	83	1166	0,3	2,1	376	40	3,8	12	3,2
		Moyenne	6,1	6,8	12,0	13,79	1148	4,9	4,1	29	118	675	98	1102	0,3	2,0	344	50	3,4	21	2,7
	Saufe/1	Amont	6,1	6,9	11,3	13,86	1223	4,7	11,2	29	134	743	112	903	0,3	1,7	320	58	1,8	27	3,2
		Aval	6,0	6,8	11,8	15,35	1300	2,0	5,2	36	151	688	93	973	0,2	1,8	381	50	2,9	18	3,7
		Moyenne	6,1	6,9	11,0	13,66	1233	6,4	6,4	31	148	719	109	933	0,3	1,8	346	67	4,0	23	3,3
	Saufe/5	Amont	6,0	6,7	11,9	14,83	1250	2,9	9,9	39	149	677	100	1071	0,3	1,8	321	40	5,3	21	3,5
		Aval	6,1	6,8	11,4	15,53	1360	2,1	4,6	35	129	720	98	1057	0,3	2,1	300	43	3,5	14	3,2
		Moyenne	6,0	6,7	11,6	15,18	1305	2,5	7,2	37	139	699	99	1064	0,3	1,9	310	41	4,4	17	3,4
	Alpiste témoin	Amont	6,4	6,8	11,7	13,52	1177	1,2	0,7	45	147	662	110	1115	0,2	1,7	299	31	1,7	11	4,2
		Aval	6,4	6,8	10,6	13,71	1317	1,2	0,4	26	100	716	102	1040	0,2	1,6	320	32	5,0	11	2,6
		Moyenne	6,4	6,8	11,1	13,61	1247	1,2	0,6	36	123	689	106	1077	0,2	1,6	310	32	3,4	11	3,4
	Saufe sb	Amont	6,3	6,6	11,3	13,38	1197	1,5	0,2	56	191	657	147	1035	0,3	2,3	306	42	1,8	16	5,4
		Aval	6,2	6,7	10,8	13,53	1253	2,0	0,6	34	145	686	136	1017	0,2	2,1	311	36	5,1	13	3,4
		Moyenne	6,2	6,7	11,1	13,46	1225	1,8	0,4	45	168	671	141	1026	0,3	2,2	308	39	3,5	14	4,4
10 novembre 2016	Alpiste/1	Amont	6,4	6,8	12,7	13,15	1037	1,1	0,2	49	173	717	136	1139	0,3	2,1	311	38	2,2	14	4,7
		Aval	6,3	6,8	10,6	10,89	1023	1,5	0,5	35	111	724	129	1105	0,2	2,4	328	52	5,6	14	3,2
		Moyenne	6,4	6,7	11,5	11,83	1022	1,2	0,4	37	131	738	130	1136	0,3	2,2	396	51	3,5	15	3,5
	Saufe/1	Amont	6,5	n.d.	11,7	13,67	1197	1,1	0,5	110	244	727	175	1003	0,3	3,5	345	44	3,3	17	11,2
		Aval	6,3	6,8	12,4	13,48	1087	1,7	0,3	35	194	679	125	1033	0,3	1,9	544	52	2,6	9	3,4
		Moyenne	6,4	6,8	11,9	12,72	1079	1,2	0,3	57	195	713	148	1009	0,3	2,4	434	56	3,1	17	5,8
	Saufe/5	Amont	6,3	6,7	11,7	13,24	1133	0,9	0,1	58	206	698	148	1171	0,3	2,2	320	34	2,2	17	5,0
		Aval	6,3	6,7	11,6	13,07	1127	1,2	0,5	40	168	726	146	1075	0,3	2,3	363	52	4,0	13	3,7
		Moyenne	6,3	6,7	11,7	13,16	1130	1,0	0,3	49	187	712	147	1123	0,3	2,2	342	43	3,1	15	4,3
			6,1	6,8	11,6	14,42	1249	4,1	5,5	31	126	699	98	1013	0,3	1,9	335	49	3,3	19	3,1
			6,4	6,7	11,5	12,84	1126	1,3	0,4	45	161	708	135	1074	0,3	2,2	367	46	3,3	15	4,3

ANNEXE 4

Tableau 17 : Ruissellement (mm) et charges en nutriments (g/parcelle) à la sortie des bandes végétatives filtrantes de 2013 à 2016.

	Traitements	2013			2014			2015			2016			Moyenne
Périodes		hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	annuelle
Ruissellement (mm)	Alpiste / sans	10	204	188	29	157	66	25	220	36	73	246	163	354
	Alpiste / 1	23	110	56	5	49	37	5	93	6	10	21	16	108
	Saule / sans	18	142	164	21	122	49	24	221	46	49	331	178	341
	Saule / 1	19	148	119	10	50	32	15	58	26	45	202	31	189
	Saule / 5	10	77	78	11	79	24	8	88	24	15	34	47	124
MES	Alpiste / sans	43	293	2087	63	97	252	115	193	296	261	141	497	1084
	Alpiste / 1	38	111	163	5	55	73	21	453	24	52	10	98	276
	Saule / sans	72	221	1380	39	189	144	268	185	603	250	192	744	1072
	Saule / 1	129	198	544	27	25	56	38	220	122	184	209	359	528
	Saule / 5	22	95	368	15	97	70	123	273	247	166	49	230	439
N total dissous	Alpiste / sans	44	474	424	23	83	42	36	94	15	27	51	33	336
	Alpiste / 1	110	173	69	2	25	14	3	27	2	6	3	4	110
	Saule / sans	113	220	436	20	41	9	32	74	24	33	66	39	277
	Saule / 1	164	264	319	7	20	10	9	26	7	13	46	6	223
	Saule / 5	25	148	175	6	32	4	12	39	6	5	4	8	116
N-NH ₄	Alpiste / sans	10	334	73	1	5	22	4	39	1	1	20	3	129
	Alpiste / 1	5	86	2	0	1	0	0	11	0	0	1	0	27
	Saule / sans	11	135	89	0	3	1	6	40	1	4	11	2	76
	Saule / 1	21	134	11	0	2	4	1	10	0	0	9	0	48
	Saule / 5	1	59	14	0	3	0	1	13	0	0	1	0	23
N-NO ₃ +N-NO ₂	Alpiste / sans	27	90	239	16	51	7	23	33	8	11	10	8	131
	Alpiste / 1	100	64	47	2	18	8	2	10	1	5	1	1	65
	Saule / sans	97	59	215	15	25	5	20	15	15	13	22	12	128
	Saule / 1	125	98	239	6	11	2	6	10	3	5	17	2	131
	Saule / 5	23	75	120	4	19	2	6	16	3	3	1	2	69

Périodes: hiver: novembre à février; dégel : mars à avril; culture: mai à octobre

Suite

	Traitement	2013			2014			2015			2016			Moyenne
Période		hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	annuelle
P total (persulfate)	Alpiste / sans	6	332	233	12	37	15	16	32	6	11	44	25	192
	Alpiste / 1	7	62	24	0	4	2	0	7	0	1	2	2	28
	Saule / sans	14	123	252	12	18	7	33	55	15	16	87	39	168
	Saule / 1	15	92	93	2	10	3	2	6	2	3	48	3	70
	Saule / 5	2	41	53	1	6	1	2	11	2	1	3	3	32
P total dissous	Alpiste / sans	6	337	226	12	38	16	16	31	5	10	46	24	192
	Alpiste / 1	6	61	22	0	4	2	0	5	0	1	2	2	26
	Saule / sans	12	123	249	12	18	7	33	58	13	15	91	37	167
	Saule / 1	10	91	96	2	10	3	2	4	2	3	50	3	68
	Saule / 5	2	40	51	1	6	1	1	9	2	1	2	2	30
P réactif	Alpiste / sans	5	328	220	11	35	14	15	27	4	8	40	22	183
	Alpiste / 1	5	58	21	0	4	2	0	4	0	1	2	2	25
	Saule / sans	13	119	242	12	17	7	32	51	12	13	77	34	157
	Saule / 1	12	88	90	2	9	3	2	4	1	2	43	2	64
	Saule / 5	2	38	49	1	6	1	1	8	1	1	2	2	28
K	Alpiste / sans	54	599	812	95	201	121	76	272	55	270	338	242	784
	Alpiste / 1	93	226	122	7	45	39	12	83	5	15	21	21	172
	Saule / sans	123	338	860	98	113	41	175	269	127	355	811	335	912
	Saule / 1	159	399	474	30	52	30	45	71	52	144	491	42	497
	Saule / 5	29	186	299	26	83	23	53	134	46	32	49	70	258
Ca	Alpiste / sans	44	451	505	63	214	70	53	223	59	150	297	134	566
	Alpiste / 1	152	235	185	20	92	86	26	98	14	27	20	15	243
	Saule / sans	124	264	503	52	109	38	94	229	80	111	514	151	567
	Saule / 1	159	369	449	40	60	40	54	101	74	136	360	31	468
	Saule / 5	42	218	300	38	100	39	104	207	80	64	51	61	326

Périodes: hiver: novembre à février; dégel : mars à avril; culture: mai à octobre

ANNEXE 5

Tableau 18 Concentrations moyennes pondérées des nutriments (mg/litre) à la sortie des bandes végétatives filtrantes de 2013 à 2016

	Traitements	2013			2014			2015			2016			Moyenne
Périodes		hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	annuelle
MES	Alpiste / sans	27,3	9,0	69,3	13,3	3,9	24,0	29,1	5,5	51,7	22,3	3,6	19,0	19,1
	Alpiste / 1	24,0	3,4	5,4	1,0	2,2	6,9	5,4	12,9	4,2	4,4	0,2	3,8	4,9
	Saule / sans	45,6	6,8	45,8	8,3	7,6	13,8	67,7	5,2	105,3	21,4	4,9	28,5	18,9
	Saule / 1	81,5	6,1	18,1	5,7	1,0	5,4	9,6	6,2	21,3	15,7	5,3	13,7	9,3
	Saule / 5	14,2	2,9	12,2	3,1	3,9	6,6	31,2	7,7	43,1	14,2	1,2	8,8	7,7
N total dissous	Alpiste / sans	27,7	14,5	14,1	4,9	3,3	4,0	9,0	2,7	2,6	2,3	1,3	1,3	5,9
	Alpiste / 1	69,6	5,3	2,3	0,5	1,0	1,3	0,9	0,8	0,3	0,5	0,1	0,1	1,9
	Saule / sans	71,8	6,7	14,5	4,2	1,6	0,8	8,1	2,1	4,1	2,8	1,7	1,5	4,9
	Saule / 1	103,7	8,1	10,6	1,6	0,8	1,0	2,4	0,7	1,1	1,1	1,2	0,2	3,9
	Saule / 5	15,9	4,5	5,8	1,4	1,3	0,3	3,0	1,1	1,0	0,5	0,1	0,3	2,0
N-NH₄	Alpiste / sans	6,6	10,2	2,4	0,2	0,2	2,1	1,0	1,1	0,3	0,1	0,5	0,1	2,3
	Alpiste / 1	3,4	2,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	Saule / sans	6,7	4,1	3,0	0,0	0,1	0,1	1,5	1,1	0,2	0,3	0,3	0,1	1,3
	Saule / 1	13,1	4,1	0,4	0,0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,8
	Saule / 5	0,7	1,8	0,5	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
N-NO₃+N-NO₂	Alpiste / sans	17,2	2,8	7,9	3,5	2,0	0,6	5,7	0,9	1,3	1,0	0,2	0,3	2,3
	Alpiste / 1	63,1	1,9	1,6	0,4	0,7	0,8	0,5	0,3	0,2	0,4	0,0	0,1	1,1
	Saule / sans	61,2	1,8	7,1	3,2	1,0	0,5	5,2	0,4	2,6	1,1	0,6	0,5	2,3
	Saule / 1	79,4	3,0	8,0	1,2	0,4	0,2	1,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,1	2,3
	Saule / 5	14,8	2,3	4,0	0,9	0,8	0,2	1,6	0,4	0,5	0,2	0,0	0,1	1,2

Périodes: hiver: novembre à février; dégel : mars à avril; culture: mai à octobre

Suite

	Traitement	2013			2014			2015			2016			Moyenne
Période		hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	hiver	dégel	culture	annuelle
P total dissous	Alpiste / sans	3,73	10,17	7,73	2,53	1,47	1,46	4,13	0,91	0,96	0,90	1,13	0,97	8,87
	Alpiste / 1	4,20	1,90	0,79	0,05	0,18	0,21	0,09	0,20	0,04	0,09	0,05	0,08	1,44
	Saule / sans	8,92	3,78	8,38	2,53	0,71	0,70	8,44	1,55	2,58	1,35	2,21	1,49	6,06
	Saule / 1	9,19	2,83	3,10	0,34	0,39	0,29	0,54	0,16	0,35	0,29	1,22	0,12	3,11
	Saule / 5	1,23	1,25	1,76	0,30	0,25	0,11	0,58	0,31	0,35	0,13	0,07	0,10	1,49
P réactif	Alpiste / sans	3,50	10,32	7,51	2,54	1,51	1,49	4,04	0,89	0,82	0,83	1,18	0,93	8,84
	Alpiste / 1	3,84	1,87	0,75	0,04	0,18	0,19	0,06	0,13	0,03	0,06	0,05	0,07	1,39
	Saule / sans	7,33	3,78	8,27	2,59	0,72	0,69	8,32	1,65	2,31	1,32	2,31	1,41	5,97
	Saule / 1	6,07	2,79	3,17	0,34	0,40	0,27	0,50	0,11	0,29	0,23	1,27	0,10	3,05
	Saule / 5	1,08	1,23	1,69	0,29	0,25	0,09	0,35	0,26	0,28	0,09	0,06	0,08	1,44
K	Alpiste / sans	3,24	10,03	7,32	2,40	1,41	1,35	3,91	0,78	0,74	0,71	1,01	0,84	8,59
	Alpiste / 1	3,47	1,78	0,71	0,04	0,16	0,16	0,07	0,11	0,02	0,05	0,04	0,06	1,32
	Saule / sans	8,04	3,65	8,04	2,53	0,67	0,62	8,10	1,43	2,13	1,15	1,95	1,31	5,81
	Saule / 1	7,59	2,69	2,98	0,32	0,38	0,24	0,45	0,10	0,25	0,18	1,08	0,09	2,94
	Saule / 5	0,99	1,17	1,62	0,27	0,23	0,08	0,29	0,23	0,22	0,06	0,05	0,07	1,38
Ca	Alpiste / sans	34,3	18,3	27,0	20,3	8,0	11,5	19,3	7,7	9,6	23,1	8,6	9,3	22,8
	Alpiste / 1	58,6	6,9	4,1	1,4	1,8	3,7	3,1	2,4	0,9	1,3	0,5	0,8	6,9
	Saule / sans	78,0	10,4	28,5	20,8	4,5	3,9	44,2	7,6	22,2	30,3	20,6	12,8	20,5
	Saule / 1	100,4	12,2	15,8	6,4	2,1	2,9	11,3	2,0	9,1	12,3	12,5	1,6	16,0
	Saule / 5	18,4	5,7	9,9	5,5	3,3	2,2	13,4	3,8	8,0	2,8	1,3	2,7	8,0

Périodes: hiver: novembre à février; dégel : mars à avril; culture: mai à octobre

