

**ENGRAIS VERTS EN INTERCALAIRE
DANS LA PRODUCTION CONVENTIONNELLE DE MAÏS SUCRÉ**

13-SCS-26

Durée du projet : 05-2014 - 02-2017

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Raphaëlle Gendron agr.
et Marie-Josée Vézina agr.
Groupe ProConseil

1^{er} février 2017

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent *aucunement* le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TITRE DU PROJET :
ENGRAIS VERTS EN INTERCALAIRE DANS LA PRODUCTION
CONVENTIONNELLE DE MAÏS SUCRÉ

NUMÉRO DU PROJET
13-SCS-26

RÉSUMÉ DU PROJET

De 2014 à 2016, sept sites de parcelles d'engrais verts en culture intercalaire ont été mis en place chez cinq producteurs de maïs sucré conventionnel de la Montérégie. Quatre traitements, répliqués trois fois, ont été implantés : 1) témoin sans culture intercalaire, 2) ray-grass italien (*Lolium multiflorum*), 3) mélange de lentille (*Lens* sp.) et de ray-grass, 2) mélange de haricot (*Phaseolus* sp) et de ray-grass. Pour les producteurs participants, les essais leur ont permis de se familiariser avec cette pratique culturale. Différents paramètres ont été mesurés afin de savoir si l'un de ces engrais verts performait mieux en terme de rendement et d'amélioration de la santé des sols. Les trois traitements ont produit une biomasse et un recouvrement similaires dans tous les essais. De plus, la présence de la culture en intercalaire n'a eu aucun impact sur le rendement du maïs sucré. Néanmoins, nous n'avons pu mesurer d'impact positif sur la santé des sols dans les conditions où les essais ont été effectués, c'est-à-dire une année seulement par site. Le fait qu'aucun impact négatif sur le rendement du maïs sucré n'ait été rapporté est encourageant en regard de l'implantation de cette pratique à plus grande échelle par les producteurs. Bien que nos essais n'aient pas révélé d'impact immédiat sur l'état des sols, il est possible que ce soit plutôt par l'adoption de cette pratique à long terme qu'un impact s'avère mesurable. La réalisation de ce type d'essai sur plusieurs années chez le même producteur serait souhaitable.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Le projet avait pour objectif principal l'd'améliorer la santé des sols en production de maïs sucré conventionnel. La solution proposée était d'implanter des engrais verts en intercalaire, une pratique encore peu répandue chez les grands producteurs de maïs sucré de la Montérégie. Les sous-objectifs du projet étaient de (1) permettre aux producteurs de se familiariser avec cette pratique, (2) diffuser l'information recueillie, (3) tester différentes espèces de plantes comme culture intercalaire et mesurer leurs effets sur la santé des sols.

Le projet s'est déroulé sur trois années (2014, 2015 et 2106) et sept sites ont été installés chez cinq producteurs de maïs sucré (deux en 2014, trois en 2015 et deux en 2016). Les différents sites sont présentés au Tableau 1. Vous trouverez à l'Annexe 1 les informations recueillies en ce qui a trait aux observations de mauvaises herbes présentes dans les parcelles ainsi que les détails des traitements herbicides. Il est à noter que le site H 2014 a dû être abandonné en cours de saison compte tenu de la faible efficacité des herbicides utilisés. Comme les engrais verts avaient été semés dans l'entre-rang, il a été impossible pour le producteurs d'effectuer un second traitement dans les parcelles du projet, ce qui a eu comme conséquence la croissance incontrôlable des adventices. Cependant, les données recueillies avant la destruction des parcelles ont été incluses dans ce présent rapport.

Tableau 1. Localisation des sites, année de l'essai, type de sol, date de semis de l'engrais vert et stade du maïs au moment du semis.

Site et année	Localisation	Série de sol	Semis de l'engrais vert	
			Date	Stade du maïs
H 2014	Saint-Jean-Baptiste	Du Jour loam argileux	30 juin	V6
S 2014	Îles de Boucherville	St-Laurent argile limoneuse	22 et 23 juillet	V7 à V8
H 2015	Saint-Jean-Baptiste	Aston loam sableux fin	6 juillet	V6 à V7
S 2015	Îles de Boucherville	Masouche loam limono-argileux	25 juin	V4
T 2015	Sainte-Julie	Laplane loam limono-argileux humifère	17 juin	V6
G 2016	Sainte-Julie	Du Jour loam	29 juin et 10 juillet†	V4 à V8
V 2016	Boucherville	Providence argile limoneuse	20 juillet	V4

† Le haricot a été ressemé le 10 juillet sur ce site puisqu'il n'avait pas germé.

L'expérience a été conduite sous forme de bloc complet aléatoire. Chaque site comprenait trois répétitions pour chacun des trois traitements et de la parcelle témoin. Les trois traitements étaient : 1) un semis pur de ray-grass, 2) un mélange de ray-grass et lentilles et 3) un mélange de ray-grass et haricots. Le taux des semis des différentes espèces est présenté au Tableau 1.

Tableau 2. Taux de semis des engrais verts.

Traitements avec culture intercalaire	Taux de semis (kg/ha)		
	Ray-grass	Lentille	Haricot
Semis pur			
Ray-grass (<i>Lolium multiflorum</i>)	20†, 45‡ et 40§	-	-
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille (<i>Lens culinaris</i>)	10†, 45‡ et 20§	15†, 70‡ et 30§	-
Ray-grass/haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	10†, 45‡ et 20§	-	10†, 50‡ et 20§

† Taux de semis chez H 2014.

‡ Taux de semis chez S 2014.

§ Taux de semis en 2015 et 2016.

Les taux de semis ont été différents pour les deux sites implantés en 2014. Le premier site a été implanté aux taux prévus au protocole du projet (H 2014). Le second site (S 2014) ayant été implanté plus tard en saison, les taux de semis ont été augmentés afin d'obtenir une meilleure couverture. En 2015 et 2016, le taux de semis a été augmenté en rapport au protocole (doublé) pour s'assurer qu'il y ait toujours un bon recouvrement étant donné que la variabilité de la date de semis.

Durant le mois de juin, au moment où la culture avait atteint le stade voulu (soit, entre cinq et sept feuilles), les semences d'engrais vert ont été semées à la volée à la main entre les rangées de maïs. La superficie des parcelles était de 190 mètres carrés, ce qui représente 10 rangées de maïs (0,76 mètres entre chaque rangée) par 25 mètres de long.

Au total, cinq visites ont été réalisées en cours de saison, soit une visite environ aux deux semaines. Les deux premières visites nous ont permis d'évaluer le pourcentage de recouvrement des engrais verts et des mauvaises herbes dans chacune des parcelles. Des lectures (10/parcelle) à l'aide d'une pince à chlorophylle ont aussi été prises à deux reprises durant la saison afin de vérifier si la présence des engrais verts avait un effet sur le développement du maïs. Le rendement du maïs a été mesuré lors de la troisième visite. Pour ce faire, pour chacune des parcelles, tous les épis ont été récoltés sur la rangée du centre sur une longueur de 10 mètres. Le poids total des épis récoltés a été noté. À la cinquième visite, l'effet des cultures intercalaires sur le sol a été évalué selon les paramètres suivants (pour chaque parcelle): test de densité apparente et de stabilité structurale, récolte de la biomasse des engrais verts afin de calculer les rendements de matière sèche à l'hectare. La biomasse de l'engrais vert a été prise à l'aide d'un quadra de 0,75 mètre carré. Les plants ont été coupés à deux centimètres du sol et séchés immédiatement. Pour ce qui est du test d'infiltration de l'eau et du profil de sol, un seul test a été réalisé par traitement.

Compte tenu que la récolte du maïs sucré s'effectue relativement tôt en fin de saison (fin août jusqu'à la mi-septembre), la période automnale est propice pour les producteurs de maïs sucré à faire un travail de sol afin d'assurer un bon contrôle des populations de mauvaises herbes et d'être rapidement prêts pour les semis de l'année suivante. Bien qu'il ait été préférable de ne pas procéder à la destruction des engrais verts aussi tôt afin de laisser le sol couvert le plus longtemps possible, cette situation représentait une contrainte importante pour les producteurs. Ainsi, la présence importante de mauvaises herbes sur certains sites a poussé les agriculteurs à vouloir faire un travail de sol, selon leurs habitudes, à l'automne. Les parcelles d'essai ont donc été détruites rapidement suite à la récolte du maïs. Les tiges ont été hachées et enfouies dans les premiers centimètres du sol.

Aucun traitement n'a eu d'effet significatif sur le rendement du maïs, ni sur la densité apparente du sol, l'infiltration de l'eau et la stabilité structurale. Cependant, il est important de noter les essais ne se sont déroulés que sur une seule saison. Ainsi, il est possible que les impacts positifs des engrais verts sur la santé des sols ne soient mesurables que sur une plus longue période. De plus, sur 4 sites sur 6, l'implantation des engrais verts a été de moyenne à mauvaise, ce qui pourrait expliquer l'absence d'impacts mesurables sur les paramètres de santé des sols.

Quant aux sous-objectifs du projet, ces derniers ont été atteints. Le premier était de familiariser des producteurs de maïs sucré à l'utilisation d'engrais vert en intercalaire ce qui a été réalisé de par leur participation au projet. Pour ce qui est de diffusion du projet, c'est-à-dire le second sous-objectif, il a été présenté à quatre occasions et un article a été inséré en 2015 dans le journal du Groupe ProConseil. Un second article présentant les résultats finaux du projet sera intégré au prochain journal, au printemps 2017. Finalement, la diffusion du projet se fait également à travers le site internet du Groupe ProConseil où les résultats sont mis à jour à chaque année. Le troisième sous-objectif, soit, celui de tester différentes espèces végétales comme plante intercalaire a également été réalisé. En effet, deux légumineuses moins connues, soit la lentille et le haricot, ont été utilisées durant les 3 années du projet en mélange avec une graminée plus familière, le raygrass italien. Afin d'améliorer nos connaissances sur ces trois espèces, plusieurs paramètres ont été mesurés pour évaluer leur performance et leur effet sur la santé des sols.

Afin de déterminer s'il y avait une différence significative entre les moyennes des traitements d'engrais verts, les données ont été analysées par une analyse de variance (ANOVA) effectuée avec le logiciel R.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Divers paramètres ont été utilisés afin de : (1) déterminer si certains engrais verts se démarquent quant à leur performance (biomasse aérienne, pourcentage de recouvrement) (2) mesurer l'impact des engrais verts sur la culture de maïs sucré (lectures de pince à chlorophylle, rendement du maïs) et (3) évaluer l'influence des engrais sur la santé du sol (profils de sol, tests d'infiltration, densité apparente, tests de stabilité structurale).

Performance des engrais verts

Pourcentage de recouvrement

En cours de saison, le pourcentage de recouvrement des engrais verts et des mauvaises herbes a été évalué de façon régulière (environ aux deux semaines). Les données prises sont présentées en Annexe I et en Annexe II. Il est important de noter qu'une seule personne par visite procédait à l'évaluation du pourcentage de recouvrement, mais que ce n'était pas absolument la même personne qui procédait à cette évaluation la visite suivante. Cette information, puisqu'elle est subjective, permet particulièrement d'évaluer si un engrais vert offrait un meilleur recouvrement que les autres végétaux lors d'une visite donnée.

Sur plusieurs sites, le ray-grass a semblé recouvrir le sol davantage et plus rapidement (sites de 2014 et 2015) que les deux légumineuses. En 2016, ce sont les mélanges ray-grass/lentille et ray-grass/haricot qui se sont démarqués aux sites G et V. Cependant, la présence de mauvaises herbes était très importante au site G (2016), ce qui a pu nuire à l'identification du ray-grass sur ce site. De plus, au site V (2016), la faible présence du ray-grass pourrait avoir été causée par une piètre germination des semences. Des photos des parcelles sont présentées en Annexe III.

Pour plusieurs sites, l'implantation a été moyenne à mauvaises. Les causes possibles de cette faible implantation sont dans certains cas un mauvais contrôle des mauvaises herbes (S 2014, T 2015 et G 2016). Dans d'autres cas, une implantation trop tardive (S 2014 et V 2016) ou de faibles précipitations dans les jours suivants le semis (V 2016 et G 2016) ont provoqué ce résultat. Le semis à la volée (en surface) plutôt que dans le sol a sans doute contribué aux faibles populations d'engrais verts.

Biomasse aérienne sèche des engrais verts

La biomasse des engrais verts a été mesurée en fin de saison (environ deux semaines après la récolte du maïs). La Figure 1 permet de comparer les biomasses d'engrais verts récoltées aux différents sites. Les résultats de l'analyse statistique sont présentés en Annexe IV. Pour la majorité des sites, aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements. La seule exception revient au site Grand Côteau 2016 où le mélange ray-grass haricot a produit une biomasse supérieure aux autres traitements. Il serait cependant important de considérer la présence importante de mauvaises herbes à ce site. Quant au ray-grass utilisé seul, il a produit une biomasse plus importante pour le tiers des sites (S 2014 et T 2015) tandis que la biomasse du mélange ray-grass/haricot a été supérieure pour 4 des 6 sites.

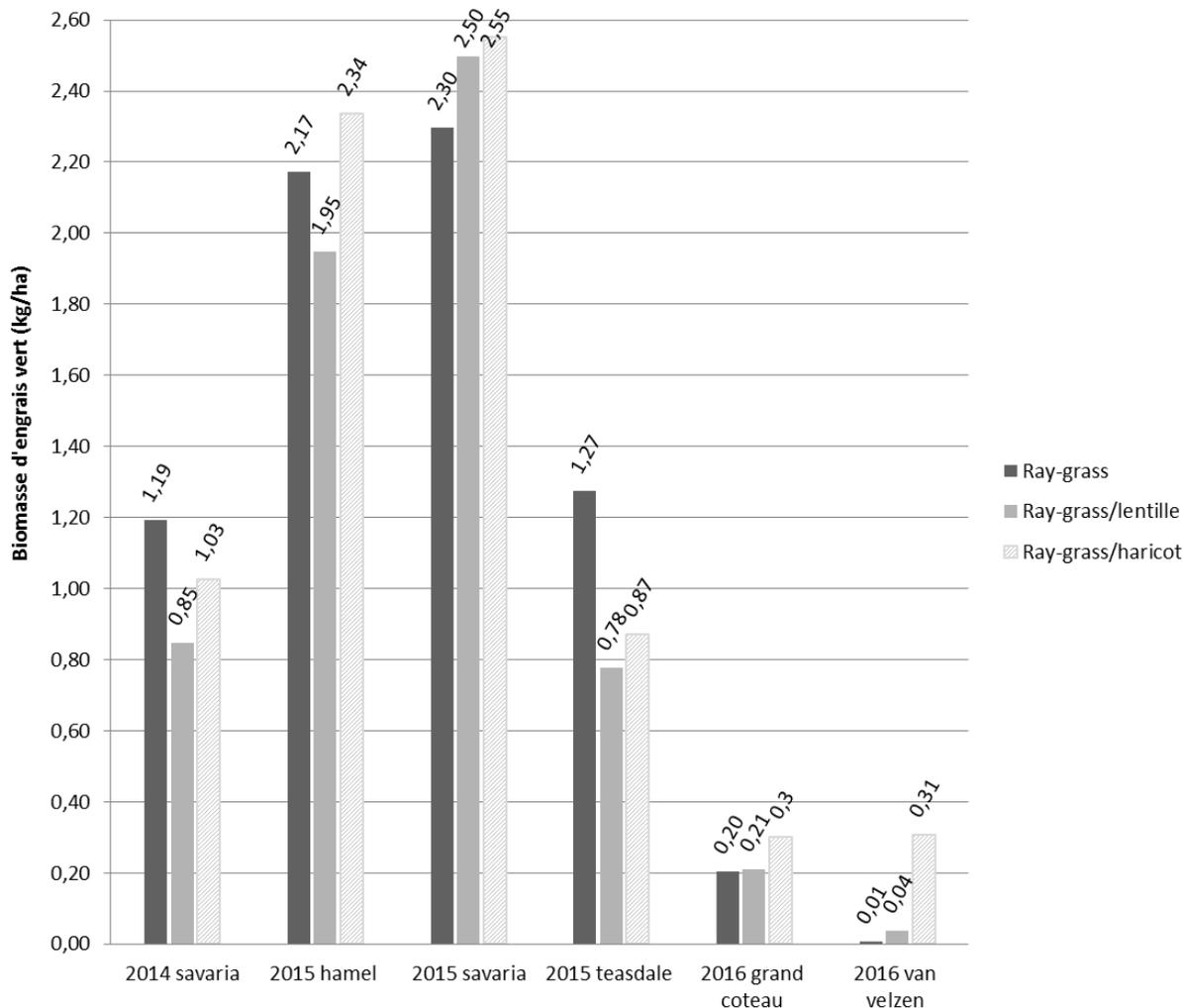


Figure 1. Biomasse aérienne sèche des engrais verts aux différents sites.

Impact des engrais verts sur la culture de maïs sucré

Lecture de la pince à chlorophylle

Des lectures de chlorophylle à l'aide de la pince à chlorophylle ont été prises dans l'ensemble des parcelles à deux reprises durant la saison, soit environ 2 et 4 semaines après le semis des engrais verts. Les résultats obtenus ainsi que l'analyse statistique sont présentés à l'Annexe V. La pince à chlorophylle est un outil utilisé afin de mesurer la teneur relative en chlorophylle des feuilles. Plus la valeur mesurée est élevée, plus la présence de la chlorophylle est élevée. Pour ce projet, l'utilisation de la pince avait pour objectif d'établir si la présence des engrais verts dans l'entre-rang faisait obstacle au maïs sucré pour l'azote du sol. Les données recueillies ont procuré des résultats non significatifs (10 fois sur 11), ce qui se traduit par une non-compétition pour l'azote entre les engrais verts présents dans les entre-rangs et la culture de maïs sucré.

Rendement du maïs

En fin de saison, le rendement du maïs a été évalué de la façon suivante : pour chacun des parcelles, tous les épis de la rangée du centre et sur une longueur de 10 mètres, ont été récoltés et pesés. La figure 2 montre le rendement moyen du maïs sucré selon les différents

traitements. À une seule reprise, soit au site T (2015) la parcelle témoin a donné des rendements plus élevés que les parcelles avec engrais verts. Cependant, pour tous les autres sites, les résultats de l'analyse statistique présentés en Annexe IV démontrent qu'il n'y a aucune différence significative de rendement entre les quatre traitements et ce, pour les trois années d'essai. Ce qui montre que la présence de la couverture végétale dans les entre-rangs n'a pas influencé le rendement de cette culture maraîchère.

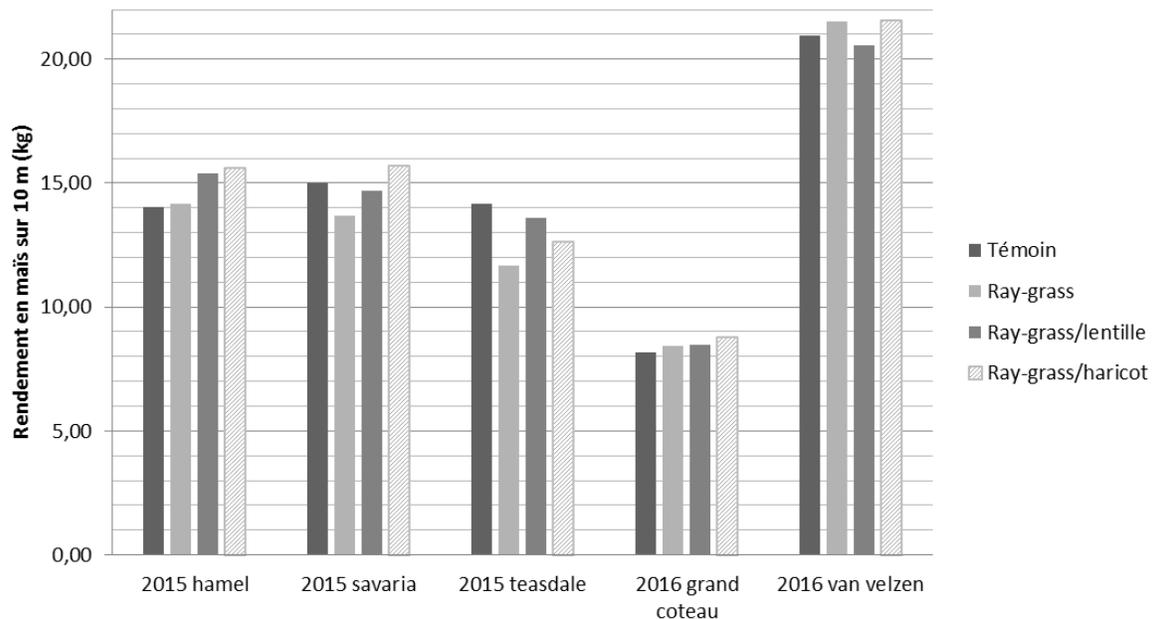


Figure 2. Rendement du maïs par traitement par site.

Impact des engrais verts sur la santé des sols

Stabilité structurale

Un test de stabilité structurale a été effectué en surface (10 premiers centimètres de sol) sur tous les sites des saisons de culture 2015 et 2016. Ce test a permis d'obtenir le diamètre moyen pondéré (DMP) des agrégats stables à l'eau. Un DMP élevé indique une plus grande résistance des agrégats aux forces externes, donc, une meilleure stabilité de la matrice du sol. Les résultats complets sont présentés en Annexe IV. Pour cet indicateur, le constat est qu'aucun d'engrais vert n'a eu d'impact significatif sur le DMP des agrégats et ce, pour tous les sites. Ce résultat pourrait s'expliquer par la présence des engrais verts en parcelle sur une courte période et par leur implantation moyenne à mauvaise sur plusieurs sites. En effet, ces derniers ont été semés approximativement vers la mi-juin et le travail de sol a été effectué après la récolte du maïs sucré, soit en août ou en septembre. Une présence prolongée de végétaux (et donc de racines) aurait probablement un impact plus important sur la structure de sol.

Test d'infiltration de l'eau

Des tests d'infiltration ont également été effectués à chaque site en surface, soit dans les premiers 15 centimètres du sol. Un test par traitement a été effectué. L'utilisation d'un infiltromètre, qui sert à mesurer la vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol, est une méthode fiable pour établir la capacité d'un sol à infiltrer l'eau. Les résultats de ce test sont présentés en Annexe IV. La quantité de données recueillie étant insuffisante pour faire des

analyses statistiques, aucune conclusion n'a pu être tirée. De plus, l'irrégularité des parcelles (sol plus compacté à certain endroit, passage de la machinerie) rend difficile la comparaison des quatre traitements pour un même site. Idéalement, le test d'infiltration devrait être pratiqué à plusieurs reprises à l'intérieur des parcelles d'essai afin de permettre de faire des analyses statistiques avec les résultats obtenus.

Densité apparente

La densité apparente permet de mesurer le volume relatif de la partie solide ainsi que la porosité du sol pour un volume donné. La densité apparente indique donc la condition du sol à certaines profondeurs. Pour chacune des parcelles d'essai, la densité a été mesurée en surface, dans les 5 premiers centimètres de sol, afin d'évaluer si la présence d'engrais verts avait un impact sur la compaction de surface. Bien que quatre fois sur six, le sol de la parcelle témoin ait été légèrement plus compacté, l'ensemble des résultats n'ont pas démontré de différences significatives entre les quatre traitements (Annexe IV). Encore une fois, la présence des engrais verts en parcelle sur une période relativement courte et leur implantation moyenne à mauvaise sur plusieurs sites sont des facteurs qui ont pu empêcher les engrais verts d'influencer positivement les conditions physiques du sol.

Profil de sol

Un profil de sol a été réalisé pour chacun des sites (un profil par traitement) après la récolte du maïs sucré. Les données et images sont présentées en Annexe VII. Bien qu'aucune différence n'ait été notée quant à la structure du sol, à l'activité biologique et au degré de compaction, une présence significativement plus abondante de racines provenant des engrais verts a été notée dans la partie supérieure des profils dans les sites avec peu de mauvaises herbes et où les engrais verts s'étaient bien implantés. La présence de racines apporte de nombreux bénéfices quant à la santé des sols : stimulation de l'activité microbienne dans la rhizosphère, apport de matière organique et d'azote. Pour ces raisons, la production de maïs sucré bénéficierait de l'intégration d'engrais verts dans le système de production.

Analyse économique

Le projet n'a pas permis de démontrer d'avantages agronomiques en faveur d'une espèce particulière, y compris la lentille. Cette espèce végétale ne s'est pas démarquée quant à sa croissance ou à son développement racinaire. Cependant, étant une légumineuse, la lentille pourrait être avantageuse grâce à sa capacité à apporter de l'azote et à son coût plus faible à l'hectare. Considérant que le coût d'implantation (machinerie) est similaire pour tous les engrais verts, que les semences de lentille sont accessibles et qu'aucune différence notable n'a été observée au cours de ces essais, la lentille reste le meilleur choix économique comme engrais vert avec un coût à l'hectare de 90 \$ comparativement à celui du haricot (163 \$) et du pois fourrager (104 \$) (Tableau 3). Le coût du pois fourrager a été inclus à titre de référence compte tenu que cette espèce végétale est communément utilisée par les producteurs.

Tableau 3. Coûts reliés à l'implantation des engrais verts en intercalaire

Coût horaire épandeur d'engrais minéral ¹			
Coût horaire épandeur d'engrais minéral ¹ (\$/h)		13,58 ²	
Espèces végétales	Prix de la semence (\$/kg)	Taux de semis (kg/ha)	Prix de la semence à l'hectare (\$)
Semi-pur			
Raygrass ³	5,10	40 ⁴	204,00
Mélange Raygrass/Haricot			
Raygrass ³	5,10	20 ⁴	102,00
Haricot noir	8,19	20 ⁴	163,80
			<i>Total :</i>
			265,80
Mélange Raygrass/Lentille			
Raygrass ³	5,10	20 ⁴	102,00
Lentille	3,00	30 ⁴	90,00
			<i>Total :</i>
			192,00
Autre culture pour fins de comparaison			
Pois fourrager	1,04 ⁵	100 ⁶	104,00

1. Épandeur 4 tonnes (Références économiques CRAAQ 2015). Les semences ont été semées à la volée, ce type d'équipement se rapproche donc de la méthode de semis utilisée.
2. Tarif pour le coût total, travail à forfait (Références économiques CRAAQ 2015)
3. Semences certifiées
4. Taux de semis en 2015 et 2016
5. COOP Comax, août 2016
6. Rapport sur les essais de démonstration d'engrais verts. Réseau Innovagrains. Saisons 2013 et 2014

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

L'utilisation de cultures intercalaires dans le maïs sucré est une pratique culturale encore en développement. Le présent projet a permis de familiariser cinq producteurs conventionnels à cette pratique bénéfique pour l'environnement et pour leur sol. Ce projet a également démontré que la présence d'engrais verts en intercalaire n'avait pas d'impact négatif sur la culture principale et ne semblait pas entraîner de compétition avec le maïs. Ces observations aideront à atténuer les inquiétudes des producteurs quant à l'utilisation d'engrais verts dans leur production de maïs sucré, ce qui pourrait se traduire ultimement par une augmentation des superficies de maïs sucré avec des cultures intercalaires.

Cependant, tel que mentionné précédemment, nous n'avons pu mesurer d'effet positif immédiat sur la santé des sols lors de nos essais. Des essais à long terme (plusieurs années d'engrais vert intercalaires implantés dans un même champ) seraient souhaitables afin de valider les effets positifs des engrais verts sur les sols. Rappelons que plusieurs bénéfices liés à la présence d'engrais verts en intercalaire ont par ailleurs été démontrés et sont reconnus par l'ensemble du milieu agricole, notamment dans la production de maïs grain et maïs ensilage : amélioration de la structure de sol, diminution de l'érosion du sol, contrôle des mauvaises herbes, contribution à la fertilisation de la culture suivante, rétention des éléments fertilisants, réduction de la pollution dans les cours d'eau, etc.

Quant à l'utilisation d'engrais verts en production de maïs sucré, les projets futurs devront considérer la régie de culture particulière de cette production maraîchère. D'abord, les plants de maïs sucré ont un feuillage moins abondant (surface foliaire restreinte) et une densité de plantation à l'hectare plus faible que celle des autres types de maïs (grain et ensilage). Ces deux caractéristiques représentent des avantages considérables quant au potentiel

d'utilisation d'engrais verts pour cette production. Cependant, comme le semis de l'intercalaire a été relativement tardif et que cette culture se récolte assez tôt en saison (fin juillet à septembre), le travail du sol se fait, dans la majorité des cas, rapidement après la récolte ce qui signifie que les engrais verts ont une période de développement restreinte. Certains des résultats obtenus semblent indiquer que la saison de croissance des engrais verts n'aient pas été suffisamment longue pour procurer des effets bénéfiques sur la santé des sols. Les projets postérieurs devront considérer les avantages de cette production maraîchère tout en tenant compte des contraintes liées à sa production.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Marie-Josée Vézina, agr.
Groupe ProConseil
347, rue Duvernay, local 203, Beloeil QC J3G 5S8
450-864-0180 poste 112

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, en vertu du Programme Prime-Vert.

ANNEXE I

Renseignements sur les sites

Évaluation visuelle de la pression des mauvaises herbes par site à différents moments, nom commercial des herbicides utilisés par les agriculteurs avant le semis des engrais verts et principales mauvaises herbes présentes.

Site et année	Recouvrement des mauvaises herbes (%)					Herbicides utilisés	Principales espèces observées
	SEV	Visite 2	Visite 3	Récolte	Visite 5		
H 2014	-	-	-	-	-	Integrity, Atrazine	<i>Amaranthus retroflexus</i> L., <i>Setaria</i> sp., <i>Portulaca oleracea</i> L., <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L., <i>Elymus repen</i> , <i>Digitaria</i> sp.
S 2014	-	11	-	8	8	Pardner, Accent	<i>Amaranthus retroflexus</i> L., <i>Polygonum persicaria</i> L., <i>Agropyron repens</i> (L.) Beauv. <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. et beaucoup de graminées annuelles
H 2015	1	3	6	6	16	Integrity, Atrazine	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav., <i>Chenopodium album</i> L., <i>Portulaca oleracea</i> L., <i>Amaranthus retroflexus</i> L., et quelques graminées annuelles
S 2015	-	4	9	21	3	Pardner, Accent	Plusieurs graminées annuelles, <i>Polygonum persicaria</i> L., <i>Amaranthus retroflexus</i> L., <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. et <i>Portulaca oleracea</i> L.
T 2015	-	9	10	8	5	Integrity	<i>Equisetum arvense</i> L., <i>Setaria faberii</i> Herrm., <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L., <i>Chenopodium album</i> L.
G 2016	-	70	94	95	96	Accent et Pardner	<i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Amaranthus retroflexus</i> L., <i>Setaria</i> sp., <i>Chenopodium album</i> L. et autres graminées annuelles.
V 2016	-	25	48	4	11	Integrity	<i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Amaranthus retroflexus</i> L., <i>Setaria</i> sp., <i>Chenopodium album</i> L. et autres graminées annuelles.

SEV=Semis de l'engrais vert

Date des visites aux différents sites.

Site et année	Semis de l'engrais vert		Visite 2		Visite 3		Récolte		Visite 5	
	Date (mm-jj)	Stade maïs	Date	Stade maïs	Date	Stade maïs	Date	Stade maïs	Date	Stade maïs
H 2014	06-30	6 f	07-18	Croix	08-06	Mûrissement	08-20	Maturité	n.a.	n.a.
S 2014	07-22	7-8 f	08-07	Croix	08-29	Mûrissement	09-09	Maturité	09-27	n.a.
H 2015	07-06	6-7 f	07-22	Croix	08-04	Mûrissement	08-10	Maturité	08-27	n.a.
S 2015	06-25	4 f	07-14	7 f	07-31	Soies	08-19	Maturité	09-09	n.a.
T 2015	06-17	6 f	07-07	8 f	07-23	Soies	08-05	Maturité	08-31	n.a.
G 2016	06-29	4-8 f	07-20	Croix	08-03	8 f - soies	08-08	Maturité	08-25	n.a.
V 2016	07-20	4 f	08-02	6-8 f	08-23	Début soies	09-21	Maturité	09-25	n.a.

f=feuilles

ANNEXE II

Évaluation visuelle du pourcentage de recouvrement des engrais verts au cours de la saison pour chaque site.

Site et année	Recouvrement des engrais (%)			
	Visite 2	Visite 3	Récolte	Visite 5
<u>H 2014</u>				
Semis pur				
Ray-grass	23	-	87	78
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	12	-	67	59
Ray-grass/haricots	17	-	83	73
<u>S 2014</u>				
Semis pur				
Ray-grass	23	-	87	78
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	12	-	67	59
Ray-grass/haricots	17	-	83	73
<u>H 2015</u>				
Semis pur				
Ray-grass	23	57	14	27
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	12	15	14	15
Ray-grass/haricots	11	21	12	13
<u>S 2015</u>				
Semis pur				
Ray-grass	13	53	33	40
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	17	10	25	37
Ray-grass/haricots	15	13	14	40
<u>T 2015</u>				
Semis pur				
Ray-grass	8	33	15	13
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	8	6	6	23
Ray-grass/haricots	5	4	5	22
<u>G 2016</u>				
Semis pur				
Ray-grass	1	1	1	1
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	4	2	2	2
Ray-grass/haricots	3	2	2	2
<u>V 2016</u>				
Semis pur				
Ray-grass	1	1	0	0
Mélange de deux espèces				
Ray-grass/lentille	3	14	3	10
Ray-grass/haricots	4	15	2	9

ANNEXE III

Quelques photos d'engrais verts prises dans les parcelles d'essai.

Témoïn



Ray-grass



Ray-grass/lentille



Ray-grass/haricot



H 2015



S 2015

T 2015

Témoïn



Ray-grass



Ray-grass/lentille



Ray-grass/haricot



G 2016



V 2016

Témoin



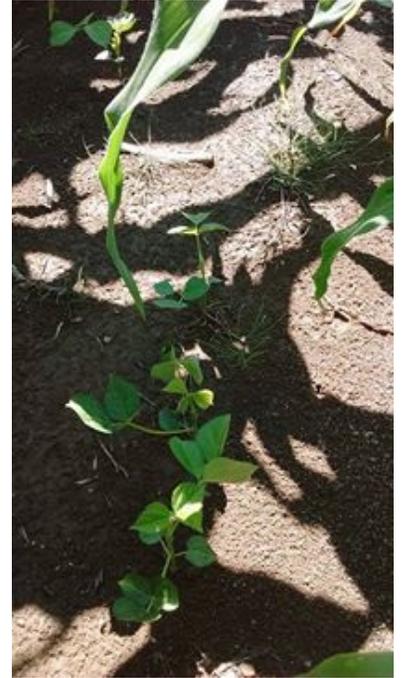
Ray-grass



Ray-grass/lentille



Ray-grass/haricot



ANNEXE IV

Biomasse aérienne sèche des engrais verts, rendement du maïs, diamètre moyen pondéré (mm) (indicateur de la stabilité structurale), densité apparente et conductivité hydraulique par traitement pour les différents sites.

Traitements avec culture intercalaire par site	Biomasse aérienne sèche des engrais verts (kg/ha)	Rendement en maïs (kg sur 10m)	Diamètre moyen pondéré (mm)	Densité apparente (g/cm ³)	Conductivité hydraulique (m/s)
<u>S 2014</u>					
Témoin	-	-	-	1.39	-
Semis pur					
Ray-grass	1.19a	-	-	1.25	-
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	0.85a	-	-	1.26	-
Ray-grass/haricots	1.03a	-	-	1.29	-
<i>P</i>	ns‡			ns‡	
<u>H 2015</u>					
Témoin	-	14.03	1.25	1.58	0.46
Semis pur					
Ray-grass	2.17	14.15	1.22	1.57	0.58
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	1.95	15.37	1.28	1.47	2.10
Ray-grass/haricots	2.34	15.60	1.16	1.55	0.73
<i>P</i>	ns‡	ns‡	ns‡	ns‡	
<u>S 2015</u>					
Témoin	-	15.00	1.57	1.48	313.76
Semis pur					
Ray-grass	2.30	13.68	1.62	1.20	6.34
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	2.50	14.70	1.88	1.44	19.53
Ray-grass/haricots	2.55	15.69	1.69	1.30	227.17
<i>P</i>	ns‡	ns‡	ns‡	ns‡	

Traitements avec culture intercalaire par site	Biomasse aérienne sèche des engrais verts (kg/ha)	Rendement en maïs (kg sur 10m)	Diamètre moyen pondéré (mm)	Densité apparente (g/cm ³)	Conductivité hydraulique (m/s)
<u>T 2015</u>					
Témoin	-	14.17	2.61	1.25	56.1
Semis pur					
Ray-grass	1.27	11.66	3.09	1.32	111.93
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	0.78	13.60	2.88	1.31	49.63
Ray-grass/haricots	0.87	12.61	2.86	1.25	72.49
<i>P</i>	ns‡	ns‡	ns‡	ns‡	
<u>G 2016</u>					
Témoin	-	8.17	1,64	1.46	1.39
Semis pur					
Ray-grass	0.20a	8.41	0,94	1.50	24.4
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	0.30b	8.47	1,00	1.45	14.1
Ray-grass/haricots	0.21a	8.78	1,35	1.52	2.71
<i>P</i>	**	ns‡	ns‡	ns‡	
<u>V 2016</u>					
Témoin	-	20.97	2,02	1.41	57.74
Semis pur					
Ray-grass	0.01	21.53	2,05	1.32	-
Mélange de deux espèces					
Ray-grass/lentille	0.31	20.55	1,58	1.38	16.27
Ray-grass/haricots	0.04	21.56	1,73	1.35	62.77
<i>P</i>	ns‡	ns‡	ns‡	ns‡	

‡ ns. Pas significatif au niveau 0,1.

***= Significatif au niveau 0,001

**= Significatif au niveau 0.01

*= Significatif au niveau 0.05

.= Significatif au niveau 0.1

ANNEXE V**Lectures de pince à chlorophylle par traitement par site.**

Traitements avec culture intercalaire par site	Lecture de la pince à chlorophylle		
	Visite 2	Visite 3	Récolte
<u>S 2014</u>			
Témoin	48.0	-	-
Semis pur			
Ray-grass	54.9	-	-
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille	48.7	-	-
Ray-grass/haricots	47.9	-	-
<i>P > F</i>	ns‡		
<u>H 2015</u>			
Témoin	53.2	71.6b	-
Semis pur			
Ray-grass	53.3	58.7a	-
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille	52.5	64.7ab	-
Ray-grass/haricots	50.1	63.5ab	-
<i>P > F</i>	ns‡	.	
<u>S 2015</u>			
Témoin	48.9	58.6	-
Semis pur			
Ray-grass	48.9	57.3	-
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille	50.7	58.4	-
Ray-grass/haricots	49.5	58.5	-
<i>P > F</i>	ns‡	ns‡	
<u>T 2015</u>			
Témoin	52.3	57.4	-
Semis pur			
Ray-grass	51.0	53.3	-
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille	52.6	56.1	-
Ray-grass/haricots	51.5	55.	-
<i>P > F</i>	ns‡	ns‡	
<u>G 2016</u>			
Témoin		53.6	50.1
Semis pur	-		
Ray-grass		54.1	48.0
Mélange de deux espèces	-		
Ray-grass/lentille		54.9	52.3
Ray-grass/haricots	-	52.1	49.1
<i>P > F</i>	-	ns‡	ns‡

Traitements avec culture intercalaire par site	Lecture de la pince à chlorophylle		
	Visite 2	Visite 3	Récolte
<u>V 2016</u>			
Témoin	-	56.2	56.3
Semis pur			
Ray-grass	-	56.5	54.7
Mélange de deux espèces			
Ray-grass/lentille	-	55.5	55.0
Ray-grass/haricots	-	55.1	53.7
<i>P > F</i>		ns‡	ns‡

‡ ns. Pas significatif au niveau 0,1.

.= Significatif au niveau 0.1

ANNEXE VI

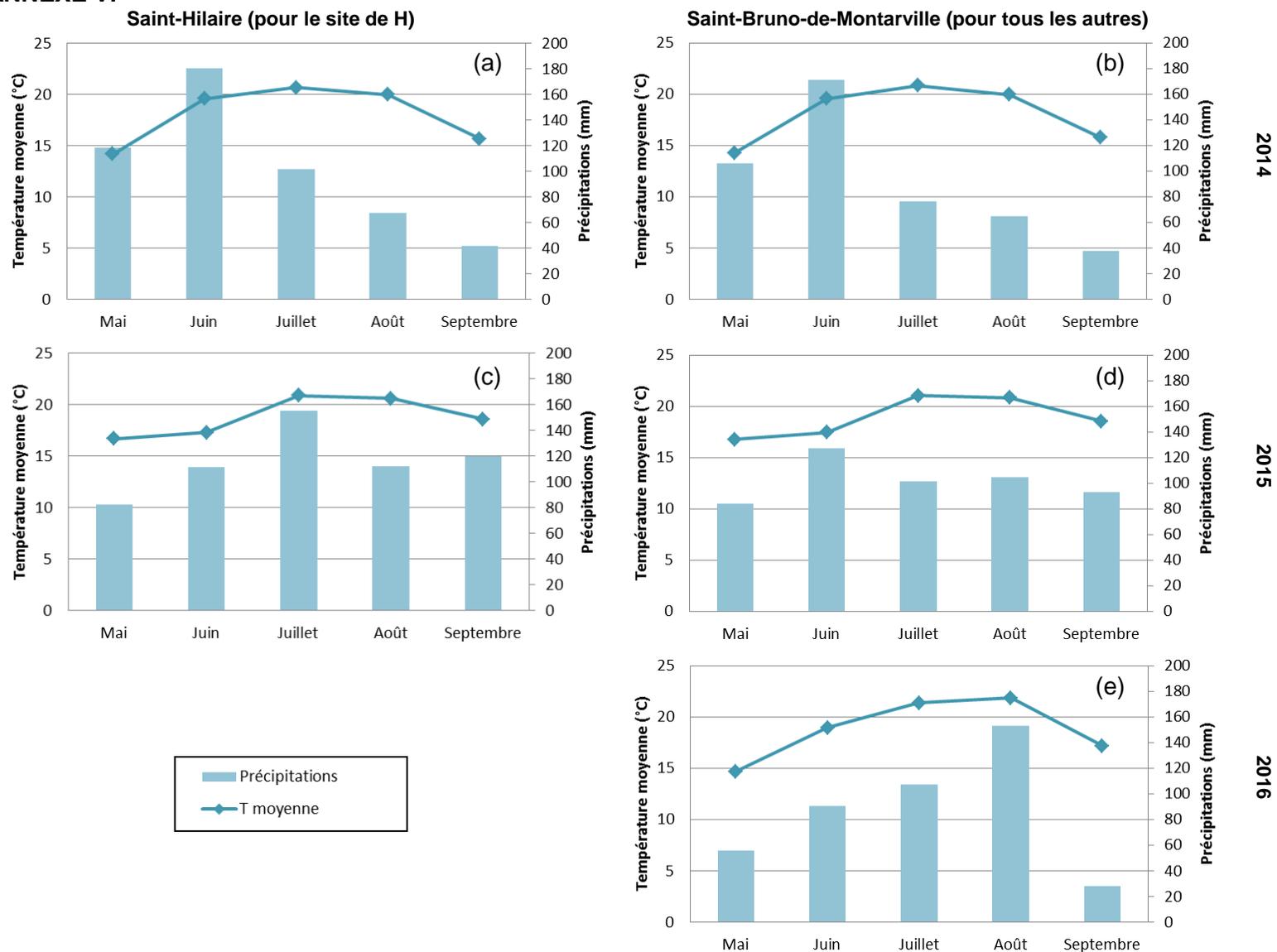


Figure 3. Données de précipitations et de températures moyennes mensuelles des stations météo à proximité des sites: (a) Saint-Hilaire 2014; (b) Saint-Bruno-de-Montarville 2014; (c) Saint-Hilaire 2015; (d) Saint-Bruno-de-Montarville 2015; (e) Saint-Bruno-de-Montarville 2016 (données de <http://www.agrometeo.org/>).

ANNEXE VII

Résumé des observations des profils de sol effectués au site S 2014 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Lourde	n/a	n/a	n/a
Humidité	Sec en surface, humide plus en profondeur.	n/a	Plus sec en profondeur.	Plus sec en profondeur.
Structure	Particulière en surface, massive en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Degré de compactage*	3 en surface, 1 en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Couleur de la matrice	Brune	n/a	n/a	n/a
Marbrures	Absentes en surface, ponctuelles en profondeur.	n/a	Marbrure en surface et en profondeur.	Absence de marbrure.
Odeur	Terre	n/a	n/a	n/a
Résidus	Faible présence	n/a	n/a	n/a
Activité biologique	Absence de ver de terre.	n/a	n/a	n/a
Racines	Abondance faible de 0'' à 40''	Abondance élevée de 0'' à 8'' et moyenne de 8'' à 40''	Abondance élevée de 0'' à 8'' et faible de 8'' à 40''	Abondance moyenne de 0'' à 40''
Note globale	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)



Photo de la structure du profil de sol par couche au site S 2014 (couche supérieure à gauche, couche inférieure à droite). Photos par parcelle non disponibles.

Résumé des observations des profils de sol effectués au site H 2015 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Moyenne à légère	n/a	n/a	n/a
Humidité	Plutôt sec dans tout le profil.	n/a	n/a	n/a
Structure	Agrégats dans les couches supérieures, particulière en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Degré de compactage*	3 à 4	n/a	n/a	n/a
Couleur de la matrice	Brune dans les couches supérieures, orange en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Marbrures	Absentes dans tout le profil.	n/a	n/a	n/a
Odeur	-	n/a	n/a	n/a
Résidus	Aucun	n/a	n/a	n/a
Activité biologique	Absence de ver de terre.	n/a	n/a	n/a
Racines	Abondance élevée de 0'' à 3'', moyenne de 3'' à 12'', absence de racines à 12'' et plus	Abondance élevée de 0'' à 3'', moyenne de 3'' à 12'', absence de racines à 12'' et plus	Abondance moyenne de 0'' à 3'', moyenne à faible de 3'' à 12'', absence de racines à 12'' et plus	Abondance élevée de 0'' à 3'', moyenne de 3'' à 12'', absence de racines à 12'' et plus
Note globale	Moyenne	n/a	n/a	n/a

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)



Photos de profil de sol dans des parcelles du site H 2015 : (a) parcelle témoin; (b) parcelle de ray-grass; (c) parcelle de ray-grass et lentilles et (d) parcelle de ray-grass et haricots.

Résumé des observations des profils de sol effectués au site S 2015 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Moyenne en surface, plus lourde en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Humidité	Humide dans tout le profil.	n/a	n/a	n/a
Structure	Agrégats en surface, particulière en profondeur.	Massive en profondeur.	Massive en profondeur.	Massive en profondeur.
Degré de compactage*	-	3 en surface, 1 en profondeur.	3 en surface, 2 en profondeur.	-
Couleur de la matrice	Brune	n/a	n/a	n/a
Marbrures	Absentes en surface, diffuses en profondeur.	Plus abondantes en profondeur.	Plus abondantes en profondeur.	n/a
Odeur	Terre	n/a	n/a	n/a
Résidus	Peu ou pas présents.	n/a.	n/a	n/a
Activité biologique	Ver de terre absent en surface, présent en profondeur.	Ver de terre absent	n/a	n/a
Racines	Abondance faible de 0'' à 40''	Abondance élevée de 0'' à 6'', faible de 6'' à 40''	Abondance élevée de 0'' à 6'', moyenne de 6'' à 40''	Abondance élevée de 0'' à 6'', moyenne de 6'' à 40''
Note globale	Moyenne	n/a	n/a	n/a

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)

Photos non disponibles.

Résumé des observations des profils de sol effectués au site T 2015 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Moyenne, plus légère en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Humidité	Sec en surface, humide en profondeur.	n/a	n/a	Plus sec dans toute la profondeur.
Structure	Particulière en surface, agrégats en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Degré de compactage*	4 en surface, 3 en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Couleur de la matrice	Brune en surface à brune-grise en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Marbrures	Absentes en surface, ponctuelles en profondeur.	Plus abondantes en profondeur.	Plus abondantes en profondeur.	Absentes en profondeur.
Odeur	Terre	n/a	n/a	n/a
Résidus	Abondance moyenne en surface, faible en profondeur.	n/a	n/a	n/a
Activité biologique	Absence de ver de terre.	Vers de terre présents en profondeur.	Vers de terre présents en profondeur.	Vers de terre présents en surface.
Racines	Abondance moyenne de 0'' à 1'', moyenne de 1 à 2'' et faible à 2'' et plus	Abondance moyenne de 0'' à 1'', moyenne de 1 à 2'' et faible à 2'' et plus	Abondance moyenne de 0'' à 1'', moyenne de 1 à 2'' et faible à 2'' et plus	Abondance élevée de 0'' à 2'' et moyenne à 2'' et plus
Note globale	Moyenne	n/a	n/a	n/a

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)



Photos de profil de sol dans des parcelles du site T 2015 : (a) parcelle témoin; (b) parcelle de ray-grass; (c) parcelle de ray-grass et lentilles et (d) parcelle de ray-grass et haricots.

Résumé des observations des profils de sol effectués au site G 2016 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Lourde	Moyenne dans les horizons intermédiaires.	n/a	n/a
Humidité	Humide dans tout le profil.	n/a	n/a	n/a
Structure	Agrégats dans tout le profil.	Plus particulière en surface.	n/a	n/a
Degré de compactage*	5 en surface, 3 ou 4 en profondeur.	(5) surface, (4) intermédiaires, (5) profondeur.	(5) surface, (4) intermédiaire, (5) profondeur.	(4) surface, (5) dernier horizon.
Couleur de la matrice	Brune en surface, brune-grise en profondeur.	n/a	n/a	Brune-orangée par endroits.
Marbrures	Absentes en surface, abondantes en profondeur.	n/a	Dans tout le profil, plus abondantes en profondeur.	n/a
Odeur	Terre, vase dans la couche intermédiaire.	Vase en surface, terre pour le reste.	Vase en surface, terre pour le reste.	Vase en surface, terre pour le reste.
Résidus	Peu en surface, une couche de résidus à 6'', rien en profondeur.	Abondance moyenne à faible en surface.	Pas de couche de résidus à 6''.	Pas de couche de résidus à 6''.
Activité biologique	Aucun ver de terre.	Vers de terre dans la couche intermédiaire.	n/a	n/a
Racines	Abondance élevée de 0'' à 2'', faible de 2'' à 24''	Abondance élevée de 0'' à 2'', moyenne de 2'' à 15'', faible de 15'' à 24''	Abondance élevée de 0'' à 2'', moyenne de 2'' à 15'', faible de 15'' à 24''	Abondance élevée de 0'' à 2'', moyenne de 2'' à 9'', faible de 9'' à 24''
Note globale	Moyenne	n/a	n/a	n/a

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)



Photos de profil de sol dans des parcelles du site G 2016 : (a) parcelle témoin; (b) parcelle de ray-grass; (c) parcelle de ray-grass et lentilles et (d) parcelle de ray-grass et haricots.

Résumé des observations des profils de sol effectués au site V 2016 (référence utilisée : Les profils de sol agronomiques, CRAAQ, 2009).

Aspect observé	Caractéristiques du profil de la parcelle témoin	Différence avec le témoin		
		Ray-grass	Ray-grass /lentilles	Ray-grass /haricots
Texture	Légère en surface à lourde en profondeur.		n/a	n/a
Humidité	Sec en surface, plus humide en profondeur.	Pas évalué puisque le ray-grass n'a pratiquement pas poussé. Considéré comme identique au témoin.	n/a	n/a
Structure	Particulière en surface, agrégats angulaires en profondeur.		n/a	n/a
Degré de compactage*	3 à 5		n/a	2 à 4
Couleur de la matrice	Brune en surface, plus grise en profondeur.		n/a	n/a
Marbrures	Absentes en surfaces, présentes en profondeur.		n/a	Présentes en surface.
Odeur	Terre		n/a	Vase dans l'horizon intermédiaire.
Résidus	Peu de résidus.		Un peu plus abondants	n/a
Activité biologique	Vers de terre dans la couche intermédiaire.		Aucun ver de terre.	Aucun ver de terre.
Racines	Abondance faible de 0'' à 15'' et plus		Abondance faible de 0'' à 2'', élevée de 2'' à 15'' et faible à 15'' et plus	Abondance élevée de 0'' à 2'', Moyenne de 2'' à 15'' et faible à 15'' et plus
Note globale	Faible		Moyenne	n/a

*Degré de compactage : 1= très compacte, 5= très bien structuré
n/a= non applicable (aucune différence observée)

(a)



(b)



Photos de profil de sol dans des parcelles du site V 2016 : (a) parcelle témoin; et (b) parcelle de ray-grass et haricots. Photos des autres profils de sols non disponibles.