

**CONTRIBUTION ÉCONOMIQUE ET AGROENVIRONNEMENTALE DES ENGRAIS VERTS POUR LA
FERTILITÉ DES SOLS RELATIVEMENT À LEUR APPORT EN AZOTE ASSIMILABLE CALCULÉ À
L'AIDE DE L'APPROCHE PAN**

**NUMÉRO DU PROJET
13-SCS-28**

**DURÉE DU PROJET :
03-2014 / 12-2017**

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Gilles Gagné, agr., M.Sc., CETAB+
Julie Anne Wilkinson, agr., M.Sc., CETAB+
Anne Weill, agr., Ph.D., CETAB+
François Gendreau-Martineau, agr., CETAB+

Collaborateur :

Jean-Pierre Hivon, agr., Club CDA

1^{er} décembre 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 :
**CONTRIBUTION ÉCONOMIQUE ET AGROENVIRONNEMENTALE DES ENGRAIS VERTS POUR LA
FERTILITÉ DES SOLS RELATIVEMENT À LEUR APPORT EN AZOTE ASSIMILABLE CALCULÉ À
L'AIDE DE L'APPROCHE PAN**

NUMÉRO DU PROJET :
13-SCS-28

RÉSUMÉ DU PROJET

L'implantation d'engrais verts est une pratique efficace pour augmenter la fertilité des sols et contribuer à leur santé et leur conservation tout en maintenant et augmentant la qualité de l'environnement. L'utilisation de légumineuses est d'autant plus bénéfique en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. Des éléments nutritifs sont ainsi captés et rendus disponibles pour la culture subséquente à la suite de leur enfouissement. Quantifier de façon précise la valeur fertilisante en azote des engrais verts pour la saison suivante est complexe compte tenu des nombreux facteurs impliqués. Des méthodes de calcul sont proposées dans la littérature, mais la quantité d'azote réellement assimilable l'année après l'engrais vert reste difficile à prédire. L'objectif de ce projet était de vérifier si la quantification de l'azote disponible de différentes légumineuses, soit trois espèces de trèfle, à l'aide de la méthode PAN de l'Université de l'Oregon est applicable au Québec. L'expérimentation s'est déroulée sur deux entreprises agricoles (Mauricie et Lanaudière). Les trois espèces de trèfle ont été semées en intercalaire directement dans le sillon d'une culture de céréales alors que la seconde année du maïs a été implanté dans les parcelles. Un témoin sans engrais vert a aussi été mis en place. Des apports d'engrais organiques en sous-parcelles, du fumier de poule séché et granulé, ont complété le dispositif expérimental. Les résultats obtenus ont permis de démontrer que les engrais verts de trèfle ont augmenté le rendement en maïs-grains, particulièrement avec le trèfle rouge, et que cette contribution au rendement est économiquement viable lorsque les conditions de sol et de croissance sont optimales. La méthode PAN n'a pas été appropriée pour quantifier l'azote disponible de l'engrais vert.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal du projet est de vérifier si la quantification de l'azote assimilable provenant d'un engrais vert pour une culture subséquente évaluée avec la méthode de calcul appelée PAN (*Plant-Available Nitrogen* ou N PAN) de l'Université d'Oregon peut être utilisée au Québec. Spécifiquement, cette étude vise à 1) comparer différentes légumineuses semées en intercalaire dans le sillon d'une culture de céréales quant à leur biomasse aérienne, leur contenu en azote et leur apport en azote lors de l'année subséquente et 2) mesurer leurs contributions agronomiques et économiques sur les rendements en maïs-grain l'année suivante.

Lors de la première année, la méthodologie a consisté à implanter en parcelles principales les engrais verts de légumineuses, soit trois espèces de trèfle (alsike, incarnat et rouge), en intercalaire directement dans le sillon de cultures de céréales à un taux de semis de 8 kg/ha, ainsi qu'un témoin sans trèfle. Ces engrais verts ont été enfouis à la fin de l'automne par labour. Quatre répétitions en blocs aléatoires complets des traitements d'engrais verts ont été effectuées pour un total de 16 parcelles par site. L'année suivante en maïs-grain, quatre doses de fumier de poule séché et granulé (actisol, formulation 5-3-2) en sous-parcelles, soit des quantités d'azote de 0, 70, 140 et 210 kg/ha de N total (équivalences minérales en azote disponible de 0, 56, 112 et 168 kg/ha de N, un facteur de 80 %) ont complété le dispositif expérimental pour un total de 64 sous-parcelles. Ce fumier a été appliqué en post-levée du maïs-grain au stade 4 à 8 feuilles, à la main ou avec un épandeur rotatif manuel à pousser, et incorporé au sol de surface lors d'une opération subséquente de désherbage mécanique. Un exemple d'un dispositif est présenté à l'annexe 1.

Le projet a été réalisé chez deux entreprises agricoles en mode de production biologique, la ferme Frappier à Saint-Barthélemy et la ferme Mylamy à Yamachiche, sur 2 sites différents par entreprise et décalés d'une année. Les deux sites 2014-15 sont désignés EV14-MG15 et Mylamy EV14-MG15 et les deux sites 2015-16 sont désignés Frappier EV15-MG16 et Mylamy EV15-MG16 (EV1x pour engrais vert et l'année correspondante, MG1x pour maïs-grain et l'année correspondante).

Pour les engrais verts, les principales données mesurées ont été les biomasses aériennes produites et les teneurs en éléments nutritifs. Tôt le printemps suivant l'incorporation automnale de l'engrais vert, du sol de surface (couche 0-20 cm) des parcelles des sites Frappier EV14-MG15, Frappier EV15-MG16 et Mylamy EV15-MG16 a été prélevé afin d'effectuer des tests d'incubation en laboratoire en conditions contrôlées pour mesurer la minéralisation de l'azote organique du sol.

Les rendements en maïs-grain ont été mesurés à l'aide d'une batteuse pour parcelles expérimentales opérée par le personnel du CÉROM. Le maïs a été récolté sur les deux rangs situés au milieu des sous-parcelles et sur toute la longueur de celles-ci. Les rendements ont été convertis en tonnes à l'hectare pour une teneur en eau de 15.5 %. Des analyses de variance ont été effectuées afin de distinguer ou non des différences entre les traitements au seuil de $p < 0.10$. Pour chaque site, des données techniques et agronomiques sont présentées à l'annexe 2 (résultats d'analyses de sol, textures et séries de sols, dates des travaux).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Les engrais verts de trèfle

Les principales données sont présentées au tableau 1 de l'annexe 3. Pour les sites de 2014, le trèfle rouge s'est avéré le meilleur engrais vert tant pour la biomasse aérienne que pour l'azote total produit. Ces valeurs sont significativement plus faibles pour le trèfle incarnat. Les pourcentages d'azote foliaire ont varié entre 3.0 et 3.7 %. Pour les sites de 2015, les biomasses aériennes et les quantités d'azote sont significativement plus élevées pour le trèfle rouge, suivi du trèfle alsike et enfin du trèfle incarnat, le moins intéressant. Les pourcentages d'azote foliaire ont varié entre 3.1 et 3.9 %. Soulignons que le trèfle rouge a été le plus constant entre les différentes parcelles d'un même site comme le démontrent ses plus faibles coefficients de variation, et ce, tant pour les quantités de biomasses aériennes que pour les quantités d'azote.

Globalement, pour les deux années, le trèfle incarnat a produit les plus faibles biomasses (0.06 à 0.71 t m.s./ha) et teneurs moyennes en azote foliaire pour des quantités d'azote totales variant entre 6.9 à 18.3 kg N/ha. Les trèfles alsike et rouge ont présenté des teneurs en azote foliaire plus élevées et semblables, mais le trèfle rouge a produit davantage de biomasse sur chacun des sites (1.14 à 1.93 t m.s./ha) et ainsi apporté globalement plus d'azote au sol, soit de 40.5 à 64.0 kg N/ha. Selon ces données, on peut conclure que le trèfle rouge s'est avéré le meilleur engrais vert, suivi du trèfle alsike et enfin du trèfle incarnat.

Les teneurs moyennes en phosphore et potassium des différents engrais verts sont présentées au tableau 2 ainsi qu'un bilan des quantités apportées à l'hectare selon les biomasses aériennes moyennes. On constate que c'est principalement du potassium qui a été capté par la biomasse aérienne des engrais verts, mais également un peu de phosphore. C'est le trèfle rouge qui a apporté davantage d'éléments nutritifs en lien avec les biomasses plus élevées produites. Cette absorption par les engrais verts a diminué les pertes environnementales par lessivage et ruissellement et a contribué à la fertilisation du maïs-grain l'année suivante. Par ailleurs, mentionnons que les rapports C/N moyens des engrais verts de trèfle ont varié entre 11 et 16, des rapports favorables en vue d'un apport en azote disponible pour une culture subséquente.

Les rendements en maïs-grain

Les principales données sont présentées par site à l'annexe 4, à l'aide de tableaux et figures. Les données de rendements en maïs-grain de l'année 2015 ne sont pas présentées. Il n'a pas été possible de faire concorder les données brutes de cette récolte avec les 64 sous-parcelles de chacun des deux sites. Ceci, malgré plusieurs analyses des données et des échanges avec la chargée de projet du CETAB+, alors responsable du projet, et avec le personnel du CÉROM qui a récolté ces parcelles. Il a ainsi fallu exclure ces deux sites 2015 en ce qui concerne les rendements en maïs-grain. Mentionnons également qu'il n'a pas été possible d'établir de relation significative entre les quantités de biomasse ou d'azote provenant des engrais verts de trèfle (N total, N PAN calculé ou 50 % du N total) et les rendements du maïs-grain.

a) Site Frappier EV15-MG16

Le tableau 1 et les figures 1 et 2 de l'annexe 4 présentent les principaux résultats. Deux sous-parcelles du traitement Tr+70 ont été rejetées à la suite des constatations visuelles lors de la récolte, soit une pour *effets de bordure* et une pour *manquement de plants*. La

moyenne des rendements avec le trèfle rouge, avec et sans actisol, a été plus élevée et significativement différente de celles avec les autres engrais verts. Les rendements en maïs-grain des traitements avec un précédent d'engrais verts et sans fertilisation ont eu tendance à augmenter proportionnellement avec la biomasse et la quantité d'azote total, le trèfle rouge ayant donné le meilleur rendement moyen (9.6 t/ha), mais sans que cela soit significativement différent. Les sous-parcelles avec des précédents engrais verts fertilisés avec une dose de 70 kg N à l'hectare d'actisol ont montré des augmentations de rendements par rapport à ceux non fertilisés et celles-ci sont aussi proportionnellement en relation avec les quantités de biomasse et d'azote apportées par les trèfles. Cette tendance d'augmentation des rendements s'est maintenue avec l'augmentation des apports d'actisol (140 et 210 kg N à l'hectare). L'apport de 140 kg N à l'hectare a globalement suffi pour atteindre une équivalence relative dans les rendements, peu importe les engrais verts. La figure 1 indique les différences significatives entre les 16 traitements. La figure 3 permet d'estimer une dose d'actisol équivalence-rendement selon le rendement obtenu avec l'engrais vert de trèfle rouge sans actisol. Pour obtenir un rendement correspondant, 110 kg N/ha sous forme d'actisol est requis par rapport à un apport moyen de 50.4 kg N/ha de l'engrais vert de trèfle rouge. Enfin, mentionnons que les coefficients de variation par traitement permettent de souligner que les rendements avec les traitements d'engrais verts de trèfle alsike et de trèfle rouge présentent les coefficients les plus faibles, soit généralement moins de 15%. Ceci indique que l'erreur expérimentale est moyenne à faible, illustrant ainsi la stabilité relative des résultats obtenus avec ses deux trèfles lors d'une expérimentation sur une entreprise agricole avec de la machinerie associée.

b) Site Mylamy EV15-MG16

Le tableau 2 et les figures 4 et 5 de l'annexe 4 présentent les principaux résultats. Ce site a reçu une application non planifiée de fumier de poulet en pré-semis dans toutes les sous-parcelles, soit l'équivalent de 90 kg N total/ha. Du maïs-grain a été semé sur ce site comme prévu, mais plus tardivement qu'initialement planifié. Le protocole a été modifié afin de tenir compte de cet apport de fumier de poulet. Ainsi, les quantités de granules de fumier de poule appliquées ont été ajustées afin d'obtenir les doses initialement prévues de 140 et 210 kg N/ha. Il y a donc eu 8 sous-parcelles avec un apport de 90 kg N/ha sous forme de fumier de poulet, donc sans apport supplémentaire d'actisol. Aucune différence significative et aucune tendance ne peuvent être distinguées sur ce site. Les rendements en maïs-grain sont globalement équivalents pour toutes les sous-parcelles, avec ou sans engrais verts et avec ou sans apport d'actisol ou de fumier de poulet. On peut toutefois souligner que les engrais verts ont diminué les coefficients de variation des rendements avec la dose de 90 kg N/ha, donc favoriser l'uniformité de ceux-ci par rapport au traitement témoin (Tem+90).

Pour les traitements sans fertilisation des deux sites, les figures 6 et 7 mettent en relation les rendements avec 1) les biomasses d'engrais verts et 2) les quantités d'azote totales des engrais verts. Cela illustre de nouveau que c'est l'engrais vert de trèfle rouge qui a été le plus performant pour le site Frappier. Également, pour les traitements sans fertilisation et par rapport au témoin, le tableau 3 présente les données du site Frappier sur la base des gains de rendement en kg de maïs-grain par 100 kg de m.s. et par 10 kg d'azote provenant des engrais verts. Cela illustre que même les faibles apports du trèfle incarnat ont contribué à l'augmentation du rendement et que les gains relatifs ont relativement tendance à diminuer avec les quantités plus importantes apportées par les engrais verts.

Des mesures du poids spécifique et de la teneur en protéines ont été gracieusement effectuées par le CÉROM pour les deux sites de 2016. Les résultats sont présentés au tableau 4 de l'annexe 4, soit les moyennes des sous-parcelles avec engrais vert sans

fertilisation. Aucune différence significative n'a été constatée selon les traitements par site. Les poids spécifiques plus élevés du site Frappier par rapport au site Mylamy seraient notamment associés à une plus faible teneur en eau du grain lors de la récolte. Une faible tendance est présente pour les teneurs en protéines, soit que celles-ci augmentent relativement en parallèle avec les quantités d'azote apportées par les engrais verts et par rapport aux témoins.

La méthode PAN

Développée en Oregon, la méthode PAN (*Plant-Available Nitrogen*) est décrite sur le [Web](#) (Sullivan D.M. et Andrews N.D., 2012. *Estimating plant-available nitrogen release from cover crop*. Oregon State University, Extension service). Il est proposé par cette méthode que lorsque la biomasse aérienne de l'engrais vert contient moins de 1.5 % d'azote, il fournit très peu ou pas d'azote disponible pour la culture suivante; que lorsque l'engrais vert contient entre 1.5 et 3.5 % d'azote, la quantité d'azote disponible pour la culture suivante augmente de façon linéaire de 0 à 15 kg par tonne de m.s. et que lorsque l'engrais vert contient plus de 3.5 % d'azote, il fournit approximativement 17.5 kg d'azote disponible par tonne de m.s. La quantité d'azote apportée par les engrais verts ainsi calculée serait équivalente à celle provenant d'apports en intrants azotés (engrais chimiques ou équivalent engrais organiques).

En résumé, la procédure en laboratoire qui a permis d'élaborer la méthode PAN a consisté à mélanger des engrais verts déchetés et du sol, d'incuber le mélange à une teneur en eau et à une température constante, de mesurer les quantités de nitrate après 4 et 10 semaines d'incubation et de soustraire de ces quantités, celles obtenues avec le même sol sans ajout d'engrais vert. On divise ensuite ces valeurs en azote minéral ($N-NO_3$) par la quantité d'azote total de l'engrais vert incubé et on obtient ainsi des pourcentages potentiels d'azote minéral disponible à 4 et 10 semaines selon différents engrais verts. L'ensemble des données ainsi acquises a permis de proposer cette méthode qui intègre les résultats d'incubations de 4 et 10 semaines.

Dans le cadre de ce projet, l'évaluation terrain de cette méthode a consisté à prélever sur une profondeur de 20 cm, un mélange du sol de surface tôt au printemps provenant de différentes parcelles où des engrais verts avaient été incorporés l'automne précédant ainsi que des parcelles témoins, soit les 16 parcelles du site Frappier EV14-MG15, les 16 parcelles du site Frappier EV15-MG16 et les 16 parcelles du site Mylamy EV15-MG16, donc 16 en 2015 et 32 en 2016. Ces sols ont été rapidement transmis au laboratoire de l'IRDA dans des glacières réfrigérées pour des incubations d'une durée de 4 et 10 semaines. Les quantités d'azote minéral ($N-NO_3 + N-NH_4$) présentes à 0 jour (réception de l'échantillon), 4 semaines et 10 semaines ont été demandées. Pour les échantillons de 2016, ce laboratoire a omis de mesurer les teneurs en eau des sols à 10 semaines. Puisque les valeurs transmises par ce laboratoire sont sur une base humide, elles doivent donc être ramenées sur une base sèche à des fins comparatives. Ainsi, seules les données à 4 semaines de 2016 sont présentées en annexe 5. Pour une même parcelle, la quantité d'azote minéral à 0 jour a été soustraite de celles à 4 et 10 semaines afin de distinguer la contribution de l'engrais vert à 4 et 10 semaines. Les données ont été multipliées par 2.24 pour obtenir une base comparative en kg/ha avec celles obtenues avec la méthode PAN. Rappelons que dans cette expérimentation, les teneurs moyennes en azote des parties aériennes des engrais verts de trèfle ont varié entre 3.0 et 3.9 % (voir annexe 3), le calcul selon la méthode PAN a donc été effectué en tenant compte de ceci. Les résultats sont présentés au tableau 1 de l'annexe 5, soit selon les sites et les engrais verts, les quantités moyennes de N total par engrais vert, de N PAN calculé et de N minéralisé après 4 semaines et 10 semaines. Nous

espérons ainsi obtenir des corrélations entre les quantités d'azote enfouies à l'automne provenant des engrais verts, les quantités d'azote minéralisées en laboratoire et les quantités d'azote disponible calculées selon la méthode PAN (ou d'autres méthodes), et idéalement, avec les rendements en maïs-grain.

De nombreux graphiques ont été réalisés afin de mettre en relation l'azote total ou l'azote PAN calculé des engrais verts de trèfle avec les quantités d'azote mesurées selon ces tests d'incubation en laboratoire. Aucune corrélation significative n'a été détectée, tant avec les données par parcelle qu'avec les moyennes d'un traitement par site. Ceci, bien que l'on aurait pu s'attendre à une relation directement proportionnelle entre la quantité d'azote totale de l'engrais vert incorporé au sol de surface ou celle calculée selon la méthode PAN, et la quantité obtenue à la suite des tests d'incubation en conditions contrôlées. Et aucun des sites n'a montré une telle tendance. Cette méthode PAN n'a donc pas donné les résultats escomptés. Ceci pourrait s'expliquer par différents facteurs tels que le délai entre l'enfouissement de l'engrais vert à l'automne et le prélèvement du sol de surface au printemps (début mai), les travaux du sol et la différence climatique importante entre l'Oregon et ces régions du Québec.

L'analyse économique

Une analyse économique a été réalisée pour le site Frappier EV15-MG16. Ce site a bien répondu selon l'hypothèse de départ, soit que les engrais verts de trèfle allaient contribuer positivement au rendement selon les quantités de biomasse aérienne et d'azote apportés. De plus, il n'a pas reçu d'apport non planifié de fumier de poulet. Soulignons cependant que les rendements obtenus avec les engrais verts de trèfle ne sont pas significativement différents à celui du témoin sans engrais vert. Les données économiques détaillées sont présentées à l'annexe 6, elles doivent être considérées avec discernement en regard de cette absence de différence significative. Pour les traitements sans apport de fumier de poule séché et granulé (actisol), l'analyse compare les revenus supplémentaires associés au gain de rendement en maïs-grain obtenu avec les engrais verts par rapport au témoin (voir tableau 3 de l'annexe 4) et les coûts, en plus et en moins, associés aux approvisionnements, aux opérations et aux frais de mise en marché afin de déterminer le résultat net par rapport au témoin sur la base de l'azote. Le tableau 1 de l'annexe 6 présente la synthèse des calculs économiques. Cette comparaison a été effectuée pour les trois engrais verts de trèfle. Afin d'approfondir l'analyse, nous avons également comparé d'autres sources d'azote généralement utilisées en mode conventionnel et biologique à des doses permettant théoriquement l'obtention d'un gain de rendement équivalent à celui obtenu avec le trèfle rouge. Des itinéraires de production standards pour chacun des modes ont été établis pour déterminer les coûts en plus et en moins des différents traitements (tableaux 2 à 5). La description de ces itinéraires est présentée au tableau 5. Globalement, les revenus générés sont supérieurs aux coûts pour chacun des trois traitements d'engrais verts en mode biologique et pour le trèfle rouge en mode conventionnel. Les coûts associés à l'utilisation d'autres sources d'azote pour des gains de rendement équivalents à ceux du trèfle rouge sont tous plus élevés que ceux associés à l'utilisation de ce trèfle, tant en mode conventionnel qu'en biologique. Ils sont toutefois couverts par les revenus supplémentaires générés par les gains de rendement dans tous les cas à l'exception du fumier de poulet en mode conventionnel pour qui les coûts en plus surpassent les revenus en plus. En mode biologique, l'avantage économique de ces engrais verts est démontré pour les trois types de trèfle, celui-ci est amplifié par la prime de prix offerte pour les grains biologiques. Les meilleurs résultats économiques sont rencontrés avec le trèfle rouge. En mode conventionnel, l'utilisation du trèfle rouge génère également un résultat économique net positif et supérieur à toutes les autres sources d'azote pour un apport équivalent. De plus, il

faut considérer qu'au-delà des performances économiques, cette comparaison avec les autres sources d'azote, notamment l'urée, n'intègre pas les nombreux avantages agronomiques, économiques et environnementaux à moyen et long termes apportés par l'engrais vert. L'implantation d'un engrais vert de trèfle rouge en intercalaire directement dans le sillon en même temps que la céréale s'avère donc rentable et ce tant en mode biologique qu'en mode conventionnel.

Conclusion

En 2015 et en 2016, les biomasses aériennes et les quantités d'azote les plus importantes ont été produites respectivement par les engrais verts de 1) trèfle rouge, 2) trèfle alsike et 3) trèfle incarnat. Les engrais verts de trèfle rouge ont significativement augmenté les rendements en grains du maïs pour le site Frappier EV15-MG16, une tendance semblable a été constatée avec les autres trèfles. Aucune tendance n'a cependant été constatée pour le site Mylamy EV15-MG16, l'apport non prévu de fumier de poulet a semblé avoir masqué la contribution agronomique des engrais verts. Par ailleurs, la biomasse aérienne et la quantité d'azote produites par les engrais verts de trèfle ont été de bons indicateurs des augmentations potentielles de rendement du maïs-grain pour le site Frappier EV15-MG16. Cependant, aucune relation significative n'a pu être établie entre ces quantités et les rendements du maïs-grain selon les traitements en sous-parcelles du site, incluant l'utilisation de la méthode de calcul PAN de l'Oregon. Celle-ci semble mal adaptée à nos conditions de climat et de régie. Pour le site où cela était possible, une dose équivalence-rendement de 110 kg de N total/ha sous forme d'actisol a été estimée par rapport à un apport de 50,4 kg de N/ha provenant de l'engrais vert de trèfle rouge sans apport d'actisol. De plus, il a été démontré, avec ce projet, que l'implantation de trèfles en intercalaire directement dans le sillon en même temps que des céréales de printemps est réalisable et avantageuse, particulièrement avec le trèfle rouge, selon l'analyse agroéconomique effectuée pour le site Frappier EV15-MG16. Les objectifs du projet ont été atteints en partie.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Une conférence sur ce projet et d'autres projets semblables a été présentée au Colloque *Bio pour tous* de 2017, soit *Essais de trèfles intercalaires dans les céréales et valeur agronomique pour le maïs-grain subséquent*. Celle-ci est disponible en ligne : <https://bio.cetab.org/colloque2017>. Par ailleurs, l'équipe d'agronomes terrain du Club CDA, un club agroenvironnemental regroupant 105 entreprises agricoles en mode de production biologique principalement en grandes cultures et rattaché au CETAB+, a utilisé les résultats de ce projet pour inciter les producteurs agricoles membres à planter du trèfle rouge dans les cultures de céréales directement dans le sillon. Un achat collectif de trèfle rouge a été effectué à l'hiver 2017 par un regroupement de 12 producteurs membres du Club CDA. Une proportion importante de cette quantité a été utilisée ce printemps en intercalaire dans des céréales.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

La réalisation de ce projet n'a pas permis de proposer une méthodologie appuyée afin de déterminer la valeur agronomique en azote (équivalent engrais minéral ou engrais organique) d'un enfouissement d'engrais verts de trèfle à l'automne pour un maïs-grain l'année suivante. Cependant, l'évaluation de la biomasse aérienne de l'engrais vert tard à l'automne, juste avant sa destruction et/ou son enfouissement, ainsi que l'analyse de son contenu en azote et carbone sont des indicateurs à privilégier afin d'estimer sa contribution au rendement l'année suivante. D'autres expérimentations sur plusieurs sites pour un

éventail d'espèces, de types de sols et leurs propriétés, de pratiques culturales et de conditions climatiques sont requises en vue d'établir pour le Québec une méthode pour bien évaluer la contribution au rendement (azote et autres) des engrais verts pour une culture subséquente. Des essais structurés et documentés en parcelles de recherche et à la ferme doivent être réalisés. Un réseau devrait être mis en place, incluant des activités de démonstration et de diffusion. À priori, selon les résultats de ce projet, les engrais verts de trèfle rouge devraient être utilisés en intercalaire par l'ensemble des entreprises agricoles cultivant des céréales de printemps en précédant d'une culture de maïs-grain. Au-delà de l'augmentation des rendements et d'un gain monétaire possible, les engrais verts apportent plusieurs effets positifs au niveau de l'agroécosystème : absorption d'azote atmosphérique et d'éléments nutritifs du sol avec remise en disponibilité pour la culture suivante, structuration du sol, augmentation de l'activité microbiologique du sol, diminution des pertes d'éléments nutritifs par lessivage, augmentation du taux d'infiltration, prévention des érosions hydrique et éolienne, diminution de la pression de mauvaises herbes, effet suppressif de maladies (biocontrôle), augmentation de la biodiversité, etc.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Gilles Gagné, agr., M.Sc.
CETAB+
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3
Téléphone : 819 758-6401, poste 2789
Télécopieur : 819 758-8960
Courriel : gilles.gagne@cetab.org

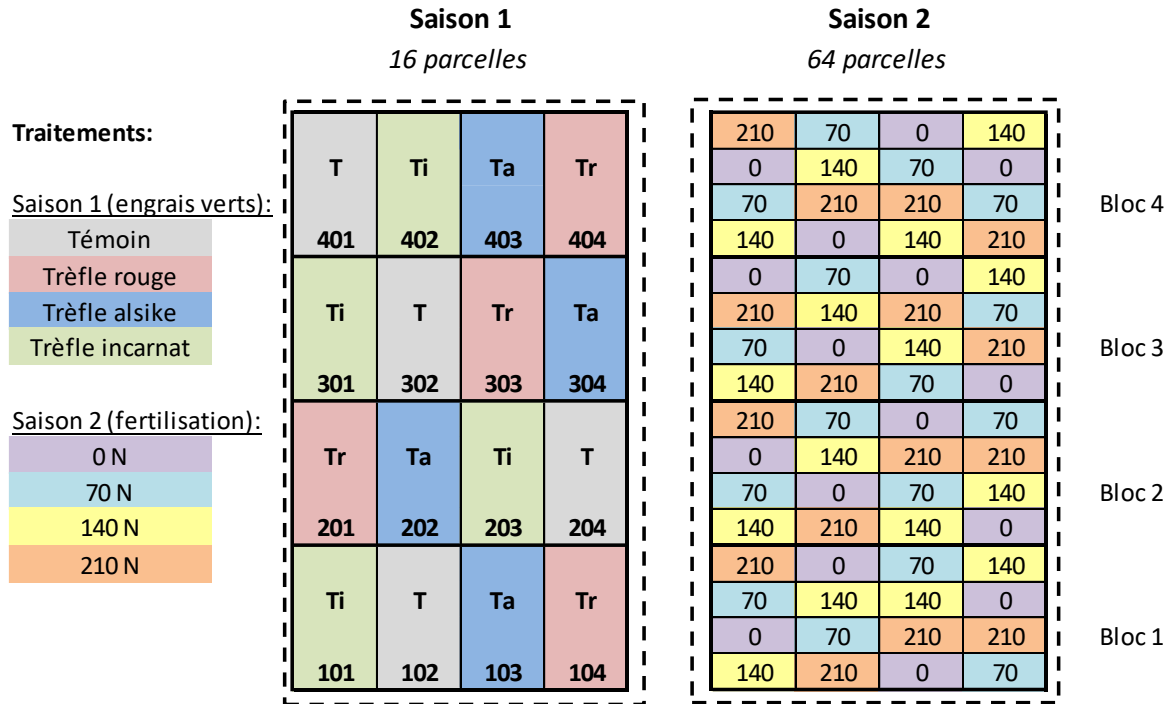
REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Nous remercions les entreprises agricoles suivantes pour leur collaboration et leurs contributions financières au projet : la ferme M Frappier et Fils de Saint-Barthélemy et la ferme Mylamy de Yamachiche. Sans celles-ci, la réalisation de ce projet aurait été impossible.

Nos remerciements s'adressent également à M. Gilles Tremblay, agr., M.Sc., chercheur au CÉROM, pour ses nombreux conseils, son évaluation qualitative sur le terrain des rendements en maïs-grain des sous-parcelles, ses analyses statistiques de données et les tests au laboratoire du CÉROM pour déterminer le poids spécifique et le pourcentage de protéines des grains de chacune des 128 sous-parcelles en maïs en 2016.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 4 du programme Prime-Vert – Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

Annexe 1 : Exemple d'un dispositif expérimental



Annexe 2 – Données techniques et agronomiques

Tableau 1 : Analyse chimique des sols

Site	pH	P Kg/ha	K Kg/ha	Ca Kg/ha	Mg Kg/ha	Al ppm
Frappier EV14-MG15	7.3	129	191	3785	401	1004
Frappier EV15-MG16	7.2	126	139	4861	616	922
Mylamy EV14-MG15	6.4	193	525	3971	720	1111
Mylamy EV15-MG16	6.2	58	184	3083	448	814

Tableau 2 : Texture de surface et série de sol

Site	Texture de surface	Série de sol
Frappier EV14-MG15	Sable loameux	Courval
Frappier EV15-MG16	Loam sableux à loam argileux	Dupas
Mylamy EV14-MG15	Argile	St-Urbain
Mylamy EV15-MG16	Loam limoneux	Chaloupe

Tableau 3.1 : Dates des principaux travaux pour les engrais verts

Travaux	Frappier EV14-MG15	Frappier EV15-MG16	Mylamy EV14-MG15	Mylamy EV15-MG16
Semis	8 mai	16 mai	13 mai	5 mai
Récolte	20 octobre	12 octobre	17 octobre	12 octobre

Tableau 3.2 : Dates des principaux travaux pour le maïs-grain

Travaux	Frappier EV14-MG15	Frappier EV15-MG16	Mylamy EV14-MG15	Mylamy EV15-MG16
Semis	10 mai	26 mai	14 mai	11 juin
Fertilisation	29 mai	14 juin	4 juin	30 juin
Récolte	26 octobre	8 novembre	26 octobre	8 novembre

Tableau 4 : Pourcentage de matière organique, sable, limon et argile pour certaines parcelles en maïs-grain en 2016

Site	Numéro de parcelle	Matière organique %	Sable %	Limon %	Argile %
Frappier EV15-MG16	101	1.9	55	35	10
	102	1.7	49	37	14
	103	1.6	55	34	11
	104	1.7	52	36	12
	201	3.2	54	33	13
	202	4.0	54	31	15
	203	3.7	53	34	13
	204	3.8	54	32	14
	301	4.2	38	44	18
	302	4.9	34	45	21
	303	6.0	40	35	25
	304	8.5	36	33	31
	401	4.8	40	39	21
	402	7.0	37	34	29
	403	8.1	39	31	30
	404	3.8	25	59	16
Mylamy EV15-MG16	102	3.8	23	59	18
	201	4.0	18	63	19
	304	3.8	22	57	21
	402	3.3	25	59	16

Annexe 3

Tableau 1 : Moyenne des biomasses aériennes, des pourcentages d'azote et des quantités d'azote total apportés par site pour chacun des engrais verts de trèfle

Site/Engrais vert	Nombre de parcelles	Biomasse aérienne t m.s./ha	Écart-type	CV %	Azote foliaire %	Azote total kg N/ha	Écart-type	CV %
Frappier EV14-MG15								
Trèfle incarnat	4	0.23 a	0.07	32.5	3.0	6.9 a	2.6	38.3
Trèfle alsike	4	1.93 b	0.35	18.0	3.3	64.0 b	11.3	17.6
Trèfle rouge	4	1.93 b	0.07	3.4	3.3	64.0 b	2.9	4.6
Frappier EV15-MG16								
Trèfle incarnat	4	0.40 a	0.22	56.1	3.1	12.9 a	9.1	70.2
Trèfle alsike	4	0.73 ab	0.52	71.0	3.8	27.7 ab	19.1	68.8
Trèfle rouge	4	1.29 b	0.51	39.6	3.9	50.4 b	20.8	41.2
Mylamy EV14-MG15								
Trèfle incarnat	3	0.06 a	0.05	81.7	3.5	0.2 a	na	na
Trèfle alsike	4	0.57 b	0.16	27.3	3.7	20.8 a	4.7	22.8
Trèfle rouge	4	1.14 c	0.29	25.5	3.6	40.5 b	8.6	21.1
Mylamy EV15-MG16								
Trèfle incarnat	4	0.52 a	0.36	69.6	3.5	18.3 a	12.5	68.4
Trèfle alsike	4	0.61 a	0.21	34.4	3.7	22.4 a	7.1	31.6
Trèfle rouge	4	1.60 b	0.18	11.2	3.6	58.0 b	8.3	14.3

CV : Coefficient de variation (%)

Pour une même colonne, les chiffres suivis d'une lettre différente sont significativement différents à $p < 0.10$

Tableau 2 : Teneurs des différents engrais verts et apports moyens en phosphore (P) et en potassium (K) par site

Site/espèce	Biomasse moyenne t/ha	Teneur moyenne P mg/kg	Apport moyen P kg/ha	Teneur en K mg/kg	Apport moyen K kg/ha
Frappier EV14-MG15					
Trèfle incarnat	0.23	3150	0.7	29068	6.6
Trèfle alsike	1.93	2763	5.3	30581	59.0
Trèfle rouge	1.93	2819	5.4	30204	58.3
Frappier EV15-MG16					
Trèfle incarnat	0.40	2720	1.1	20684	8.3
Trèfle alsike	0.73	2782	2.0	25295	18.6
Trèfle rouge	1.29	2897	3.7	26823	34.6
Mylamy EV14-MG15					
Trèfle incarnat	0.06	3040	0.3	31699	0.3
Trèfle alsike	0.57	2996	1.7	29072	16.6
Trèfle rouge	1.14	2836	3.2	29966	34.2
Mylamy EV15-MG16					
Trèfle incarnat	0.52	2832	1.5	24470	12.7
Trèfle alsike	0.61	2950	1.8	25926	15.8
Trèfle rouge	1.6	2855	4.6	27334	43.6

Annexe 4

Tableau 1 : Rendement en maïs-grain, biomasse aérienne et azote apporté par les engrais verts selon les différents traitements pour le site Frappier EV15-MG16

Engrais vert	Nb sous-parcelles MG	Rendement MG t/ha	Écart-type Rendement	CV Rendement	Biomasse EV t m.s./ha	Écart-type Biomasse EV	CV Biomasse	Azote total EV kg N/ha	Écart-type N total	CV N total
Tem	4	6.5	2.3	36.3						
Ti	4	8.3	3.4	40.9	0.4	0.2	56.1	12.9	9.1	70.2
Ta	4	8.4	0.9	11.2	0.7	0.5	71.0	27.7	19.1	68.8
Tr	4	9.6	1.3	13.5	1.3	0.5	39.6	50.4	20.8	41.2
Tem+70	4	7.9	1.9	23.7						
Ti+70	4	8.3	2.9	35.2	0.4	0.2	56.1	12.9	9.1	70.2
Ta+70	4	9.3	1.8	19.2	0.7	0.5	71.0	27.7	19.1	68.8
Tr+70	2	11.5	0.1	0.7	1.3	0.5	39.6	50.4	20.8	41.2
Tem+140	4	11.0	1.3	11.5						
Ti+140	4	10.6	2.3	22.2	0.4	0.2	56.1	12.9	9.1	70.2
Ta+140	4	10.7	1.2	11.4	0.7	0.5	71.0	27.7	19.1	68.8
Tr+140	4	11.0	1.5	14.0	1.3	0.5	39.6	50.4	20.8	41.2
Tem+210	4	11.3	0.7	6.3						
Ti+210	4	10.9	1.0	9.3	0.4	0.2	56.1	12.9	9.1	70.2
Ta+210	4	11.2	0.8	7.5	0.7	0.5	71.0	27.7	19.1	68.8
Tr+210	4	12.4	0.5	4.3	1.3	0.5	39.6	50.4	20.8	41.2
Moyenne Tem		9.2 a								
Moyenne Ti		9.5 a								
Moyenne Ta		9.9 a								
Moyenne Tr		11.1 b								

CV : Coefficient de variation (%)

Pour une même colonne, les chiffres suivis d'une lettre différente sont significativement différents à $p < 0.10$

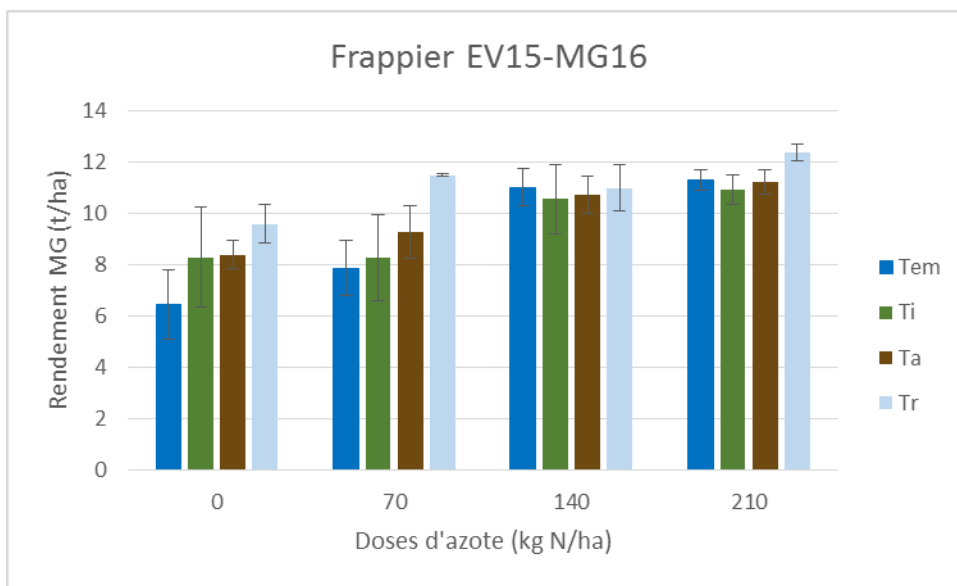


Figure 1 : Rendement en maïs-grain (MG) avec erreur type selon les engrais verts et les doses d'azote apportées pour le site Frappier EV15-MG16

Différences significatives ($p < 0.10$) entre les différents traitements :

- Tem 0N est différent de Tem 140N/210N, Ti 210N, Ta 140N/210N, Tr 140N/210N
- Tem 70N est différent de Tr 210N

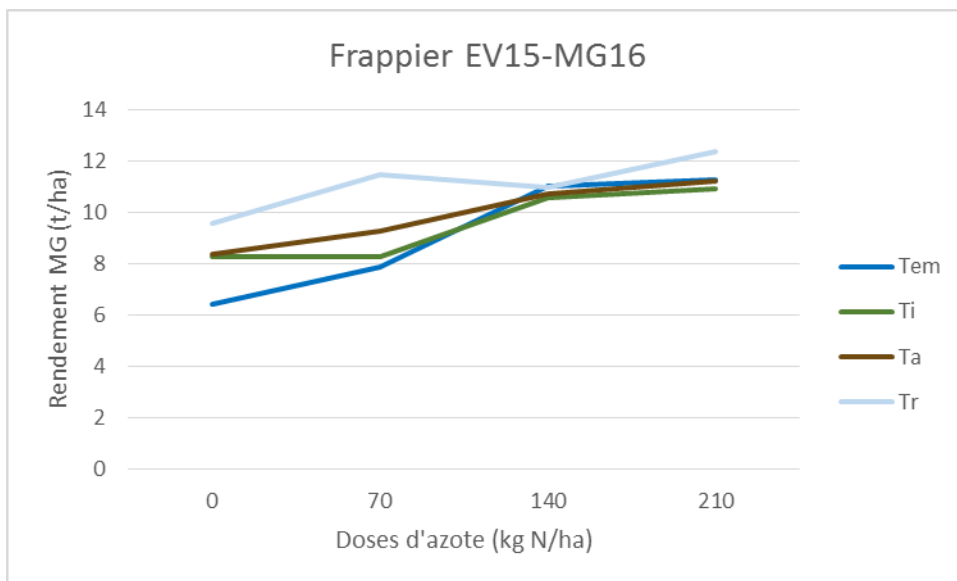


Figure 2 : Rendement en maïs-grain (MG) selon les engrais verts et les doses d'azote apportées pour le site Frappier EV15-MG16

Frappier EV15-MG16

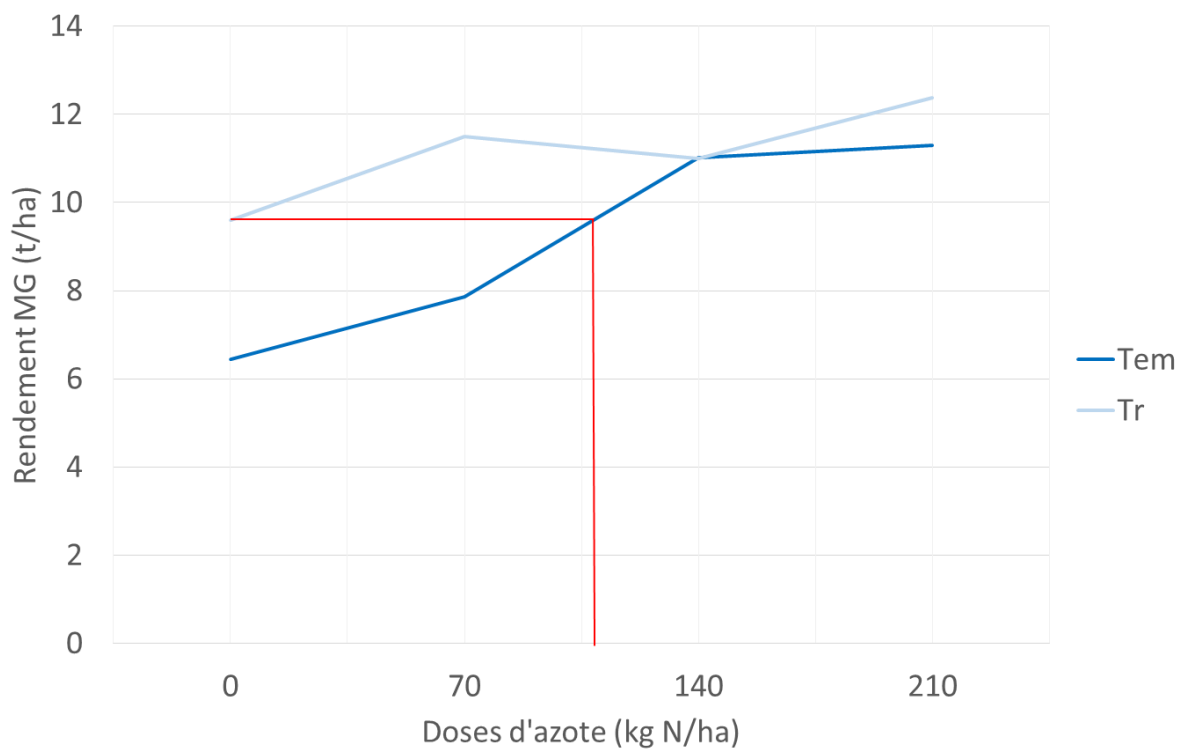


Figure 3 : Équivalent en azote total de l'actisol selon le rendement obtenu avec le trèfle rouge sans fertilisation pour le site Arche Frappier EV15-MG16

Tableau 2 : Rendement en maïs-grain, biomasse aérienne et azote apporté par les engrais verts selon les différents traitements pour le site Mylamy EV15-MG16

Engrais vert	Nb sous-parcelles MG	Rendement MG t/ha	Écart-type Rendement	CV Rendement	Biomasse EV t m.s./ha	Écart-type Biomasse EV	CV Biomasse	Azote total EV kg N/ha	Écart-type N total	CV N total
Tem+90	8	9.2	2.1	23.3						
Ti+90	8	9.3	0.7	8.1	0.5	0.3	64.4	18.3	11.6	63.3
Ta+90	8	9.1	0.7	8.1	0.6	0.2	31.8	22.4	6.5	29.2
Tr+90	8	9.2	0.7	7.9	1.6	0.2	10.4	58.0	7.7	13.2
Tem+140	4	9.4	0.3	3.7						
Ti+140	4	9.3	0.2	2.0	0.5	0.4	69.6	18.3	12.5	68.4
Ta+140	4	9.3	0.7	7.8	0.6	0.2	34.4	22.4	7.1	31.6
Tr+140	4	9.1	0.3	3.1	1.6	0.2	11.2	58.0	8.3	14.3
Tem+210	4	9.4	0.5	4.9						
Ti+210	4	9.2	1.0	10.6	0.5	0.4	69.6	18.3	12.5	68.4
Ta+210	4	9.5	0.6	6.2	0.6	0.2	34.4	22.4	7.1	31.6
Tr+210	3	9.8	0.3	3.0	1.6	0.2	11.2	58.0	8.3	14.3
Moyenne Tem		9.3 a								
Moyenne Ti		9.3 a								
Moyenne Ta		9.2 a								
Moyenne Tr		9.3 a								

CV : Coefficient de variation (%)

Pour une même colonne, les chiffres suivis d'une lettre différente sont significativement différents à $p < 0.10$

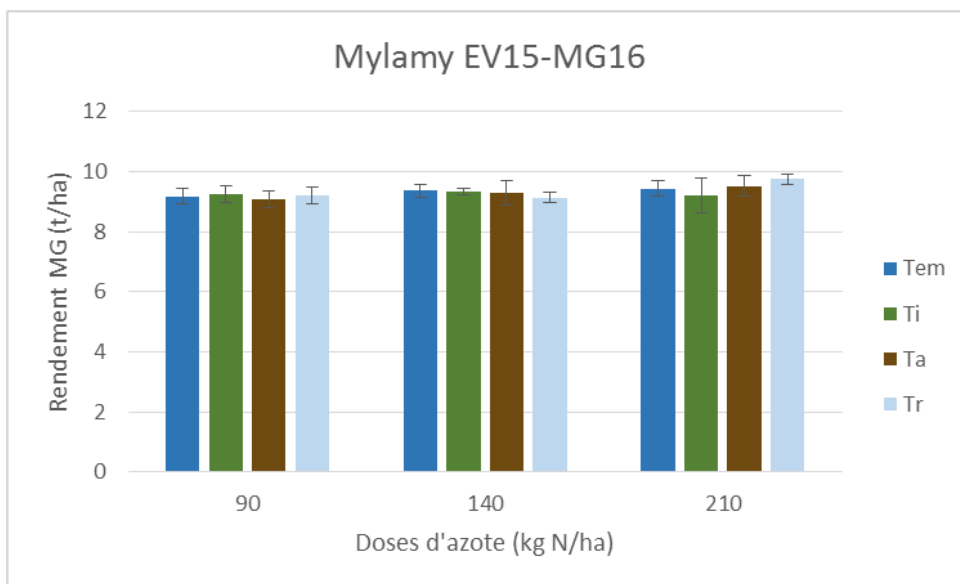


Figure 4 : Rendement en maïs-grain (MG) avec erreur type selon les engrais verts et les doses d'azote apportées pour le site Mylamy EV15-MG16

Aucune différence significative entre les traitements.

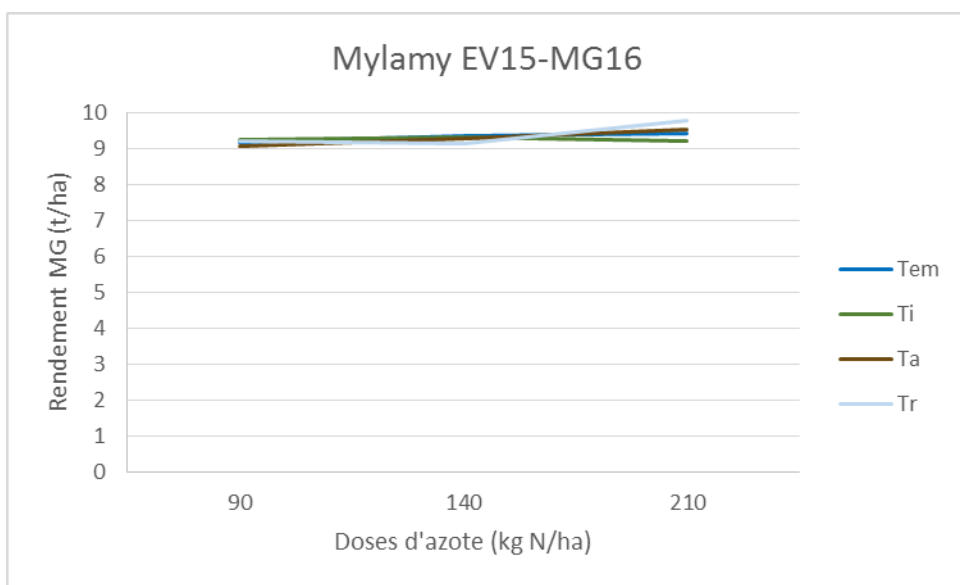


Figure 5 : Rendement en maïs-grain (MG) selon les engrais verts et les doses d'azote apportées pour le site Labonté EV14-MG15

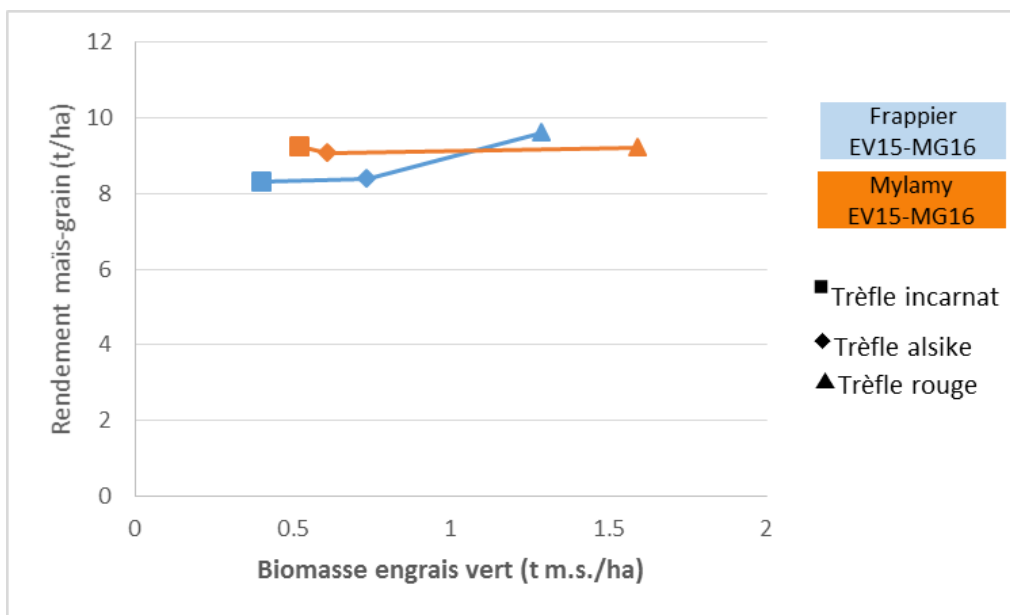


Figure 6 : Relation entre les rendements en maïs-grain et la biomasse aérienne apportée par les engrais verts, sans considérer les applications de fumier de poule granulé

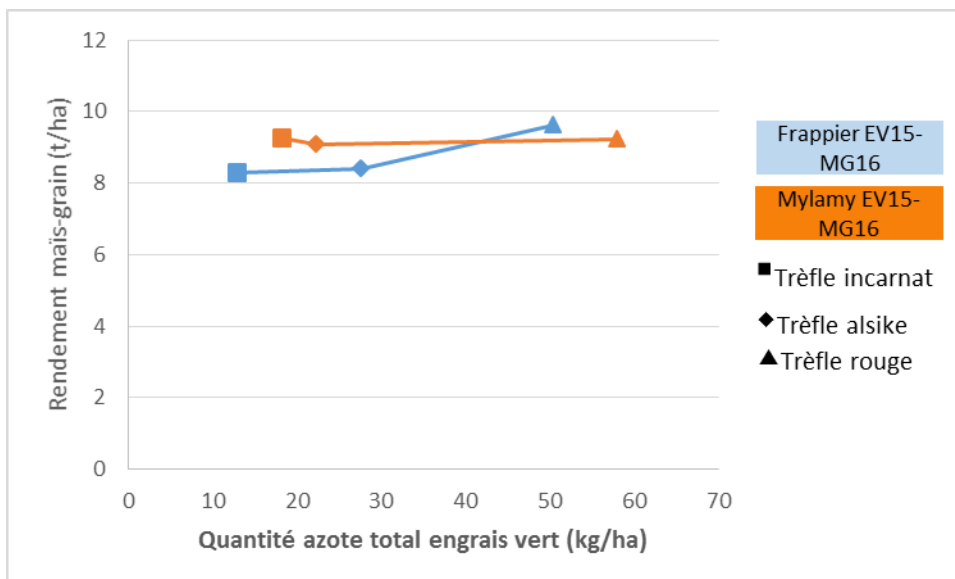


Figure 7 : Relation entre les rendements en maïs-grain et l'azote total apportée par la biomasse aérienne des engrais verts, sans considérer les applications de fumier de poule granulé

Tableau 3 : Rendement en maïs-grain (Rdt MG), biomasse d'engrais vert (Biomasse EV), azote total apporté par l'engrais vert (N total EV), gain de rendement par rapport au témoin sans engrais vert (Gain rdt p/r au témoin) et kg de grains supplémentaires par 100 kg de biomasse d'engrais vert et par 10 kg d'azote (N) provenant des engrais verts pour deux sites, Frappier EV15-MG16

Site	EV	Rdt MG t/ha	Biomasse EV t/ha	Biomasse EV kg/ha	N total EV kg N/ha	Gain rdt p/r au témoin t/ha	Gain rdt p/r au témoin kg/ha	kg grain / 100 kg m.s.	kg grain / 10 kg N
Frappier EV15-MG16	Tem	6.453							
	Ti	8.302	0.401	400.8	12.9	1.849	1848.6	461	1428
	Ta	8.392	0.735	734.8	27.7	1.939	1939.3	264	699
	Tr	9.600	1.289	1289.1	50.4	3.147	3147.2	244	624

Tableau 4 : Moyennes des poids spécifiques et pourcentages de protéines du maïs-grain chez les témoins et les différents engrais verts pour les sites Frappier EV15-MG16 et Mylamy EV15-MG16

Site / espèce	Poids spécifiques moyens kg/hl	Teneurs moyennes protéines %
Frappier EV15-MG16		
Témoin	65.0	7.2
Trèfle incarnat	65.5	7.5
Trèfle alsike	65.5	7.4
Trèfle rouge	65.3	7.4
Mylamy EV15-MG16		
Témoin	62.4	7.7
Trèfle incarnat	62.7	7.8
Trèfle alsike	62.4	7.8
Trèfle rouge	62.7	8.0

Annexe 5

Tableau 1 : Quantités moyennes de N total et de N PAN calculé par engrais vert et quantités moyennes de N minéralisé après incubation des sols de surface à 4 semaines et à 10 semaines par site

Site	EV	N total EV kg N/ha	N PAN kg N/ha	Minéralisation 4 semaines kg N/ha	Minéralisation 10 semaines kg N/ha
Frappier EV14-MG15	Tem	na	na	34,4	65,7
	Ti	6,9	2,8	35,4	62,5
	Ta	64	27,5	40,1	74,4
	Tr	64	28,3	38,4	33,9
Frappier EV15-MG16	Tem	na	na	19,8	nd
	Ti	12,9	5,5	21,3	nd
	Ta	27,7	12,9	8,3	nd
	Tr	50,4	22,6	25,1	nd
Mylamy EV14-MG15	Tem	na	na	nd	nd
	Ti	0,2	nd	nd	nd
	Ta	20,8	nd	nd	nd
	Tr	40,5	nd	nd	nd
Mylamy EV15-MG16	Tem	na	na	14,9	nd
	Ti	18,3	8,4	35,6	nd
	Ta	22,4	10,7	9,2	nd
	Tr	58	25,8	31,5	nd

na : non applicable

nd : non disponible

Annexe 6 : Analyse économique

Tableau 1 : Synthèse des variations de coûts et revenus pour les différents scénarios analysés - Site Frappier EV15 - MG16

	Comparaison 3 trèfles - régie biologique			Trèfle rouge - régie conventionnelle	Autres sources d'azote pour obtenir des gains de rendements équivalents au trèfle rouge - régie biologique		Autres sources d'azote pour obtenir des gains de rendements équivalents au trèfle rouge - régie conventionnelle	
	Trèfle rouge	Trèfle alsike	Trèfle incarnat	Trèfle rouge	Actisol	Fumier de poulet	Fumier de poulet	Urée
Produits en plus								
Maïs-grain	1 473 \$	903 \$	855 \$	617 \$	1 473 \$	1 473 \$	617 \$	617 \$
Coûts variables en plus								
Approvisionnements	60 \$	89 \$	46 \$	73 \$	1 276 \$	391 \$	391 \$	134 \$
Opérations	30 \$	30 \$	30 \$	44 \$	13 \$	179 \$	179 \$	13 \$
Mise en marché	138 \$	84 \$	80 \$	138 \$	138 \$	138 \$	138 \$	138 \$
Total des coûts variables	227 \$	203 \$	156 \$	255 \$	1 426 \$	708 \$	708 \$	285 \$
Marge sur coût variable	1 245 \$	699 \$	699 \$	362 \$	46 \$	765 \$	(91 \$)	332 \$
Point mort en augmentation de rendement (t/ha)	0,48	0,43	0,33	1,28	3,00	1,49	3,56	1,43
Point mort prix du maïs (\$/t)	73 \$	107 \$	87 \$	82 \$	460 \$	228 \$	228 \$	92 \$

Tableau 2 : Variation des revenus et coûts associés aux trois traitements - Site Frappier EV15 - MG16

	Trèfle rouge			Trèfle alsike			Trèfle incarnat		
	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total
Produits									
Maïs grain biologique en plus (t)	3,10	475.00 \$	1 473 \$	1,90	475.00 \$	903 \$	1,80	475.00 \$	855 \$
Total des produits			1 473 \$			903 \$			855 \$
Coûts variables									
Approvisionnement									
Semence trèfle (kg)	8	7,50	60 \$	8	11,12	89 \$	8	5,80	46 \$
Opérations culturales									
Fauche du chaume (passage)	1	31,89	32 \$	1	31,89	32 \$	1	31,89	32 \$
Labour (passage)	1	96,44	96 \$	1	96,44	96 \$	1	96,44	96 \$
Herse à disque (passage)	-2	24,65	(49 \$)	-2	24,65	(49 \$)	-2	24,65	(49 \$)
Disques lourds (passage)	-1	49,17	(49 \$)	-1	49,17	(49 \$)	-1	49,17	(49 \$)
Mise en marché									
Séchage silo séchoir (t)	3,10	17,21	53 \$	1,90	17,21	33 \$	1,80	17,21	31 \$
Entreposage et aération (t)	3,10	1,80	6 \$	1,90	1,80	3 \$	1,80	1,80	3 \$
Transport au point de vente (t)	3,10	15,00	47 \$	1,90	15,00	29 \$	1,80	15,00	27 \$
Criblage (t)	3,10	8,57	27 \$	1,90	8,57	16 \$	1,80	8,57	15 \$
Plan conjoint (t)	3,10	1,80	6 \$	1,90	1,80	3 \$	1,80	1,80	3 \$
Total des coûts variables			227 \$			203 \$			156 \$
Marge sur coûts variables			1 245 \$			699 \$			699 \$
Point mort - augmentation de rendement (t/ha)			0,48			0,43			0,33
Point mort - prix du maïs (\$/t)			73 \$			107 \$			87 \$

Tableau 3 : Comparaison de sources d'azote équivalentes au gain de rendement du trèfle rouge en mode biologique - Site Frappier EV15 - MG16

	Trèfle rouge			Actisol			Fumier poulet		
	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total
Produits									
Maïs grain biologique en plus (t)	3,10	475.00 \$	1 473 \$	3,10	475	1 473 \$	3,10	475	1 473 \$
Total des produits			1 473 \$			1 473 \$			1 473 \$
Coûts variables									
Approvisionnement									
Semence trèfle (kg)	8	7,50 \$	60 \$						
Actisol (t)				2,20	580,00 \$	1 276 \$			
Fumier de poulet (t)							9,48	41,25 \$	391 \$
Total des approvisionnements			60 \$			1 276 \$			391 \$
Opérations culturales									
Épandage engrais granulé (passage)				1	12,91 \$	13 \$			
Épandage fumier poulet (m3)							29,63	6,04 \$	179 \$
Fauche du chaume (passage)	1	31,89 \$	32 \$						
Labour (passage)	1	96,44 \$	96 \$						
Herse à disque (passage)	-2	24,65 \$	(49 \$)						
Disques lourds (passage)	-1	49,17 \$	(49 \$)						
Total opérations			30 \$			13 \$			179 \$
Frais de mise en marché			138 \$			138 \$			138 \$
Total des coûts variables			227 \$			1 426 \$			708 \$
Marge sur coûts variables			1 245 \$			46 \$			765 \$

Tableau 4 : Comparaison de sources d'azote équivalentes au gain de rendement du trèfle rouge en mode conventionnel - - Site Frappier EV15 - MG16

	Trèfle rouge (régie conventionnelle)			Fumier poulet (régie conventionnelle)			Urée (régie conventionnelle)		
	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total	Qté/ha	Prix unitaire	Total
Produits									
Maïs grain biologique en plus (t)	3,10	199.00 \$	617 \$	3,10	199.00 \$	617 \$	3,10	199.00 \$	617 \$
Total des produits			617 \$			617 \$			617 \$
Coûts variables									
Approvisionnement									
Semence trèfle (kg)	8	7,50 \$	60 \$						
Urée (kg)							191,30	0,70 \$	134 \$
Fumier de poulet (t)				9,48	41,25 \$	391 \$			
Herbicide (glyphosate) (l)	1,33	9,66 \$	13 \$					9,66 \$	
Total des approvisionnements			73 \$			391 \$			134 \$
Opérations culturales									
Épandage engrais granulé (passage)							1	12,91 \$	13 \$
Épandage fumier poulet (m3)				29,63	6,04 \$	179 \$			
Fauche du chaume (passage)	1	31,89 \$	32 \$						
Arrosage herbicide (passage)	1	12,44 \$	12 \$						
Total des opérations			44 \$			179 \$			13 \$
Frais de mise en marché			138 \$			138 \$			138 \$
Total des coûts variables			255 \$			708 \$			285 \$
Marge sur coûts variables			362 \$			(91 \$)			332 \$

Tableau 5 : Description des différences d'itinéraires techniques utilisées pour l'estimation des coûts

Témoin	Trèfle en régie biologique	Trèfle en régie conventionnelle	Actisol	Fumier de poulet	Urée
Opérations de base	Opérations en plus				
<ul style="list-style-type: none"> · Semis de la céréale · Récolte de la céréale · 1 passage d'appareil à disques lourds · 2 passages de herses à disques 	<ul style="list-style-type: none"> · Fauche du chaume pour favoriser la repousse uniforme du trèfle · Labour du trèfle 	<ul style="list-style-type: none"> · Fauche du chaume pour favoriser la repousse uniforme du trèfle · Destruction chimique du trèfle 	<ul style="list-style-type: none"> · Épandage avec un épandeur à engrais granulé 	<ul style="list-style-type: none"> · Épandage avec un épandeur à fumier 	<ul style="list-style-type: none"> · Épandage avec un épandeur à engrais granulé
	Opérations en moins				
	<ul style="list-style-type: none"> · 1 passage d'appareil à disques lourds · 2 passages de herses à disques 				

Tableau 6 : Quantité d'autres sources d'azote équivalentes au gain de rendement du traitement avec trèfle rouge

Équivalent N du trèfle rouge (kg/ha)	110
Équivalent Actisol du trèfle rouge (5-3-2) (t/ha)	2,2
Équivalent fumier de poulet (teneur après épandage: 11,6-19,6-16,2) (t/ha)	9,5
Équivalent Urée (46-0-0) (kg/ha)	191

Sources :

- Prix du maïs biologique : moyenne du prix pour récolte 2016, info prix bio des producteurs de grains du Québec
- Prix du maïs conventionnel : producteurs de grains du Québec, prix FAB ferme <http://www.pgq.ca/articles/services-dinformation-sur-les-marches/portrait-quebec/prix-et-bases-du-mais-livraison-immediate>
- Prix des semences de trèfle : prix 2017 d'un semencier
- Prix de l'herbicide : Outil de veille sur le prix des intrants CRAAQ
- Dose d'herbicide : Désherbage en semis direct – présentation de Sylvie Laroche du Club agroenvironnemental de l'Estrie https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/Estrie/J_info_documents/Desherbageensemisdirect.pdf
- Prix de l'urée : Fertilisants et amendements Prix AGDEX 540/8552016
- Coût des opérations culturales : CRAAQ AGDEX 740/825 - Machinerie - Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés
- Valeurs NPK des engrais organiques : CRAAQ AGDEX 538 - Valeur de remplacement engrais de ferme
- Coûts du fumier de poulet : CRAAQ Entreprise céréalière biologique - Budget d'exploitation AGDEX 111.19/821
- Prix Actisol : prix fournisseur