

GESTION EFFICACE ET INTÉGRÉE **DES ROTATIONS,**
DU TRAVAIL DU SOL, DES FUMIERS ET DES COMPOSTS
POUR UNE RENTABILITÉ ACCRUE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE



RAPPORT DE RECHERCHE

Demandeur : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Chercheurs : Adrien N'Dayegamiye, Michèle Grenier, Anne Weill, Anne Drapeau, Paul Deschênes

Date de rapport d'étape : Décembre 2012

Date de rapport final : Janvier 2014

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	i
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES PHOTOS.....	ii
RÉSUMÉ	1
1 - INTRODUCTION.....	1
2 - MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE	2
2.1 dispositif expérimental	2
2.2 régie et échantillonnages (2012 et 2013).....	2
2.3 analyses statistiques	3
3 - RÉSULTATS	4
3.1 propriétés initiales du sol	4
3.2 analyse du profil des sols	4
3.3 teneur en eau volumique et température du sol	5
3.4 propriétés physiques et biologiques du sol	7
3.5 quantités de biomasses végétales et d'azote prélevé (2012).....	10
3.6 rendements en maïs ensilage et prélèvements en azote	12
3.7 incidence de mauvaises herbes	15
3.8 analyse économique	18
4 - CONCLUSION	19
5 - REMERCIEMENTS.....	20

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1	2
Taux de semis, dates de semis et de récolte.	
TABLEAU 2	7
Teneurs en nitrates (PSNT) des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.	
TABLEAU 3	8
Analyse de variance des effets des régies étudiées sur le % en N des plants de maïs et sur les teneurs du sol en nitrates, en uréase et en phosphatase alcaline.	
TABLEAU 4	8
Teneurs en N total des plants de maïs au stade de 5 à 6 feuilles, Saint-Bruno 2013.	
TABLEAU 5	9
Teneurs en uréase des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.	
TABLEAU 6	10
Teneurs en phosphatase alcaline des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.	
TABLEAU 7	11
Biomasses végétales produites et prélèvements en N des diverses légumineuses incorporées en 2012.	
TABLEAU 8	13
Rendements en maïs ensilage (kg m.s/ha), Saint-Bruno 2013 (sarclée).	
TABLEAU 9	13
Analyse de variance des effets des régies étudiées sur les rendements en maïs ensilage des parcelles sarclées et non sarclées ainsi que sur les prélèvements en azote de la culture sarclée.	
TABLEAU 10	14
Prélèvements en N du maïs ensilage, Saint-Bruno 2013 (sarclée).	
TABLEAU 11	14
Coefficients d'utilisation de l'azote (CUN) des légumineuses pour le maïs, Saint-Bruno 2013 (sarclé).	
TABLEAU 12	16
Biomasses sèches (g) des mauvaises herbes annuelles dans les parcelles non sarclées, Saint-Bruno 2013.	
TABLEAU 13	18
Rendements en maïs ensilage (kg m.s/ha), Saint-Bruno 2013 (non sarclée).	
TABLEAU 14	19
Marges des produits sur les charges variables pour les années 2012 et 2013.	

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.	5
Teneur en eau volumique du sol quotidienne moyenne avec la herse à disques offset.	
FIGURE 2.	6
Teneur en eau volumique du sol quotidienne moyenne avec la charrue (parcelle 3) (m ³ m ⁻³).	
FIGURE 3.	6
Température du sol quotidienne moyenne (°C).	

LISTE DES PHOTOS

PHOTO 1.	5
Vesce. 24 août 2013.	
PHOTO 2.	6
Orge/trèfle rouge. 24 août 2013.	
PHOTO 3.	6
Sous-parcelle non sarclée. 18 juillet 2013.	
PHOTO 4.	6
Sous-Parcelle sarclée mécaniquement. 18 juillet 2013.	



RÉSUMÉ

Le principal frein à la croissance en productions biologiques réside dans la faible productivité attribuable à l'insuffisance en intrants azotés et à la diminution de la fertilité des sols. Les légumineuses introduites dans les rotations ne peuvent pas combler entièrement les besoins des cultures en azote et leur complément avec le fumier ou le compost est nécessaire pour compléter les besoins en azote des plantes et accroître ainsi les rendements. Le choix des légumineuses les plus performantes et la connaissance des coefficients d'efficacité d'azote des légumineuses, des fumiers et des composts constituent des défis importants de fertilisation des cultures en agriculture biologique. Huit cultures de rotation ont été implantées en 2012. Il s'agissait de (1) l'orge comme témoin (2) l'orge/trèfle incarnat (3) l'orge/trèfle blanc (Ladino) (4) l'orge/trèfle rouge (5) l'orge/trèfle rouge et trèfle blanc (6) la vesce velue (7) la luzerne annuelle et (8) le pois sec. Pour compléter les apports des différentes légumineuses en azote, des applications de fumier de bovins et de compost Biosol à raison de 50 t/ha ont été effectuées au printemps de 2013. Les biomasses des légumineuses et les fumures organiques ont été incorporées au sol par hersage et labour à une profondeur de 10 et 20 cm, respectivement. Les résultats indiquent que la plupart des légumineuses ont accru de façon importante les rendements du maïs et amélioré la nutrition azotée. L'apport du compost a également accru les rendements en maïs ensilage et les prélèvements en azote, contrairement au fumier de bovins. L'incorporation des légumineuses et des fumures organiques par la herse a permis une meilleure efficacité de l'azote de ces sources organiques, en comparaison avec le labour du sol. Les bénéfices des légumineuses sur les niveaux de rendements et la nutrition du maïs ainsi que sur l'amélioration des propriétés du sol ont été dans l'ordre suivant : vesce velue > le trèfle rouge/ trèfle ladino > trèfle ladino > trèfle rouge > luzerne annuelle > trèfle incarnat > pois sec > orge. Malgré les conditions climatiques sèches de l'été 2012 qui n'ont pas permis une croissance optimale des légumineuses établies, les bénéfices des légumineuses ont été plus importants que ceux des fumures organiques. L'incorporation des légumineuses en fin d'été et en automne 2012 a favorisé la minéralisation de leurs biomasses et la disponibilité de l'azote pour le maïs en 2013. Par contre, les précipitations abondantes et les températures froides de la saison de 2013 n'ont pas permis une valorisation efficace de l'azote des fumiers et des composts appliqués au printemps. Les résultats de cette étude ont cependant démontré une interaction significative des légumineuses et du compost sur les niveaux de rendements et la nutrition azotée du maïs. Les apports combinés de légumineuses et de fumures organiques peuvent ainsi combler complètement les besoins en azote des cultures. L'incorporation superficielle de ces sources d'azote dans le sol est cependant nécessaire afin d'optimiser leur décomposition et améliorer rapidement la nutrition azotée des cultures.

1. INTRODUCTION

Au Québec, il existe actuellement une réelle croissance de la demande en produits biologiques, accompagnée d'une augmentation de fermes consacrées à ce secteur de production. En effet, le nombre d'exploitations biologiques au Québec s'élevait à 1 170 fermes certifiées en 2010. Les superficies consacrées à l'agriculture biologique s'élevaient à 41 000 ha en 2010, avec une augmentation de 5 % par rapport à 2009. Ce secteur agricole est également en pleine expansion, principalement dans les pays européens, notamment la Suisse, la France, les Pays-Bas et la Pologne. Cependant, le principal frein à la croissance de ce secteur réside dans la faible productivité par rapport à l'agriculture conventionnelle. Celle-ci est principalement attribuable à l'insuffisance en intrants azotés et à la diminution de la fertilité des sols. Malgré cela, il existe encore très peu d'essais et d'expérimentations reliés à ce secteur de production.

Une importante source d'azote en agriculture biologique provient de l'intégration fréquente des légumineuses dans les rotations. Ces cultures fixent l'azote de l'atmosphère qui devient bénéfique pour la nutrition de la plante cultivée durant l'année suivant l'incorporation des biomasses de légumineuses. Cependant, peu d'études ont évalué les crédits d'azote des légumineuses pour les cultures subséquentes, qui sont variables selon leur potentiel de fixation de l'azote de l'atmosphère et les biomasses végétales produites.

À elles seules, les légumineuses dans les rotations ne peuvent pas toujours couvrir entièrement les besoins des cultures subséquentes en azote. Il est alors nécessaire d'importer à la ferme des fumiers frais ou des composts afin de compléter les besoins des cultures en éléments nutritifs. Pour mieux gérer l'azote des légumineuses, des fumiers ou des composts, il est aussi nécessaire de connaître leurs coefficients d'efficacité qui peuvent varier en fonction des conditions du sol (texture, structure, compactage, état de drainage, etc.) et des pratiques culturales.

Cette étude visait à connaître l'effet du mode de travail du sol, des légumineuses introduites dans la rotation et des apports de fumier et de compost sur les rendements et la nutrition en azote du maïs. Les effets de ces régies agricoles sur les changements des propriétés du sol reliés à la fertilité (structure, potentiel de minéralisation, et activités enzymatiques) ont également été déterminés. Enfin, l'impact économique de ces pratiques agricoles a aussi été évalué.

2. MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Cette étude a intégré trois facteurs établis dans un dispositif en split-split-plot, soit le mode de travail du sol, les cultures de rotation en agriculture biologique et l'apport de fumier ou de compost. Le facteur principal était le mode de travail du sol, soit le labour conventionnel et le travail réduit avec la herse à disques Offset. Le facteur secondaire étudié consistait en 8 différentes cultures de rotation, soit (1) l'orge comme témoin (2) l'orge/trèfle incarnat (3) l'orge/trèfle blanc (Ladino) (4) l'orge/trèfle rouge (5) l'orge/trèfle rouge et trèfle blanc (6) la vesce velue (7) la luzerne annuelle et (8) le pois sec. Le troisième facteur étudié consistait en apport de fumier de bovins et de compost Biosol à raison de 50 t/ha sous forme humide, comparé au témoin (0 t/ha) sans fumure organique. Tous les traitements ont été répétés trois fois. Au total, l'essai comprenait 144 parcelles (2 modes de travail du sol x 8 systèmes de rotation x 3 traitements avec fumier, composts et sans engrais organique x 3 répétitions).

2.2. RÉGIE ET ÉCHANTILLONNAGES (2012 ET 2013)

Le semis des légumineuses comme source d'azote pour la production biologique a été établie au printemps 2012 à la Plateforme biologique (station expérimentale BIO) de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville en Montérégie. Sept cultures de légumineuses ont été semées seules ou en association avec l'orge comme plante abri, tandis que la culture d'orge en semis pur a servi de culture témoin, non fixatrice d'azote. Les différents taux de semis ainsi que les dates de récolte et de fauchage sont présentées au tableau 1.

Les grains d'orge en semis pur et les pois secs ont été récoltés par une moissonneuse batteuse. Les grains ont été pesés et séchés pour évaluer le rendement. Les pailles d'orge en semis pur ont été sorties de la parcelle alors que les pailles des pois ont été retournées au sol.

Tableau 1. Taux de semis, dates de semis et de récolte

Culture	Taux de semis (légumineuses)	Taux de semis (orge)	Date de semis	Date de récolte/fauchage
Orge (semis pur)		180 kg/ha	18 mai	29 août
Orge / trèfle incarnat	18 kg/ha	126 kg/ha	18 mai	29 août
Orge / trèfle ladino	8 kg/ha	126 kg/ha	24 mai	24 septembre
Orge / trèfle rouge	15 kg/ha	126 kg/ha	24 mai	24 septembre
Orge / trèfle rouge et trèfle ladino*	12 kg/ha	126 kg/ha	24 mai	24 septembre
Vesce velue	50 kg/ha		25 mai	25 septembre
Luzerne	15 kg/ha		25 mai	25 septembre
Pois sec	330 kg/ha		25 mai	29 août

*mélange en volume de 5 trèfle rouge pour 1 trèfle ladino

La récolte des biomasses végétales produites par les légumineuses a été faite à l'aide d'une fourragère spécialement conçue pour les parcelles expérimentales. La récolte a été pesée, puis retournée dans la parcelle. Le passage d'une tondeuse à fléaux a permis de hacher et de répartir uniformément les résidus organiques dans chacune des parcelles. Par la suite, les biomasses végétales ont été incorporées légèrement par le passage d'une herse à disques.

Des échantillons de biomasses végétales des légumineuses ont été prélevés après la récolte de chaque espèce de culture en 2012, afin d'analyser les teneurs en matière sèche et en azote.

En 2013, les contributions en azote des légumineuses enfouies en engrais verts ou comme résidus de culture, du fumier solide de bovins et du compost ont été évaluées sur la culture de maïs. Les coefficients d'efficacité de l'azote des légumineuses, des fumiers et des composts pour la culture de maïs ont été déterminés. De plus, les effets du mode de travail du sol (labour versus hersage) sur l'efficacité de l'azote de ces différentes sources azotées ont aussi été évalués.

Les parcelles avec les précédents de cultures (30 m par 48 m) ont été divisées en trois sections de 10 m par 48 m pour les applications des fumures organiques, soit le fumier de bovins laitier, le compost (Biosol de Fafard) et aucun apport fertilisant. Les applications du fumier et du compost ont eu lieu au début du mois de mai à raison de 50 tonnes par hectare sous forme humide. Les contenus en carbone et en azote étaient respectivement de 35,5 % et 0,42 % pour le fumier et de 34,6 % et 1,20 % pour le compost Biosol. Les teneurs en nitrates étaient de 308 mg/kg pour le fumier et de 765 mg/kg pour le compost. Les rapports C/N étaient de 17 et de 14 respectivement pour le fumier et le compost.

Par la suite, le travail du sol a été effectué sur la totalité des parcelles expérimentales afin d'incorporer les fumures organiques. Deux méthodes de travail du sol ont été utilisées, soit la charrue et la herse à disques offset. La profondeur du travail effectué était de 10 cm avec la herse à disques et de 20 cm avec le labour.

La préparation du lit de semence a nécessité deux passages de vibroculteur. À cause de fortes précipitations de la fin du mois de mai, le semis de maïs-grain a été effectué le 6 juin. Le taux de semis du maïs était de 75 684 plants par hectare avec un espacement entre les rangs de 76 cm. Le maïs-grain biologique semé était l'hybride 1197 de Blue River avec 2525 d'unités thermique maïs (utm).

Le contrôle des mauvaises herbes a été effectué en juin et juillet. Le premier passage a eu lieu le 27 juin, 21 jours après le semis, avec un sarcléur de type Kongskilde. Le second passage a été fait avec un sarcléur à dents danoises, sur lequel des disques ont été fixés. Ces derniers servaient à effectuer un renchaussage du sol sur le rang afin d'y réprimer les mauvaises herbes. Ce passage a été fait le 9 juillet, 33 jours après semis. Le dernier passage a été effectué le 23 juillet avec un sarcléur de type Hiniker, 47 jours après semis. Les hauteurs moyennes des plants de maïs étaient respectivement de 4 à 5, 12 et de 30 à 36 pouces (10 cm, 30 cm, entre 75 et 90 cm) pour le premier, deuxième et troisième sarclage.

Les échantillonnages du sol et des plantes ont été réalisés dans toutes les parcelles au stade de 5 à 6 feuilles du maïs. Les paramètres déterminés étaient la teneur du sol en carbone et en azote total, les teneurs en nitrates du sol, et les concentrations en N des feuilles de maïs en cette période physiologique. Les sols ont été également échantillonnés au mois de juillet afin de déterminer les activités biologiques et enzymatiques du sol, ainsi qu'au mois de septembre pour analyser la densité et la structure du sol.

À partir du mois de juillet, la teneur en eau volumique et la température du sol ont été mesurées ponctuellement à chaque heure pour l'ensemble de la saison. L'étude des profils de sol a également été effectuée au mois de septembre afin de connaître les changements sur la structure et la compaction du sol.

Afin d'évaluer l'effet des différents traitements sur l'incidence des mauvaises herbes, la récolte de mauvaises herbes a été faite au mois de septembre dans les mini-parcelles non sarclées (2mX2m). Les plantes de mauvaises herbes ont été individuellement identifiées, regroupées en monocotylédones et dicotylédones. Par la suite, les biomasses végétales des mauvaises herbes ont été séchées à 105°C pendant 48 heures et ensuite pesées.

La récolte du maïs a été effectuée à la dernière semaine du mois d'octobre. La récolte d'épis et de tiges a été effectuée à la main dans chaque sous-parcelle, soit dans la zone désherbée (6m X 8m) et non désherbée (2m X 2m). Cette méthode a été utilisée afin de s'adapter aux conditions trop humides des épis qui ne favorisaient pas l'utilisation optimale d'une moissonneuse batteuse. Les tiges et les épis ont par la suite été ensilés. Un sous-échantillon d'épis et de tiges ensilées a ensuite été prélevé, séché à 65°C, pesé et analysé afin de connaître les quantités totales en matière sèche et la concentration en azote.

Les résultats ont été exprimés en rendements de maïs ensilage.

2.3. ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse de variance avec PROC MIXED a été utilisée afin de déterminer les effets du travail du sol, des cultures précédentes de rotation et de l'apport du fumier ou de compost et leurs interactions sur les rendements en maïs, les prélèvements en azote ainsi que sur les changements de diverses propriétés du sol.

3. RÉSULTATS

3.1. PROPRIÉTÉS INITIALES DU SOL

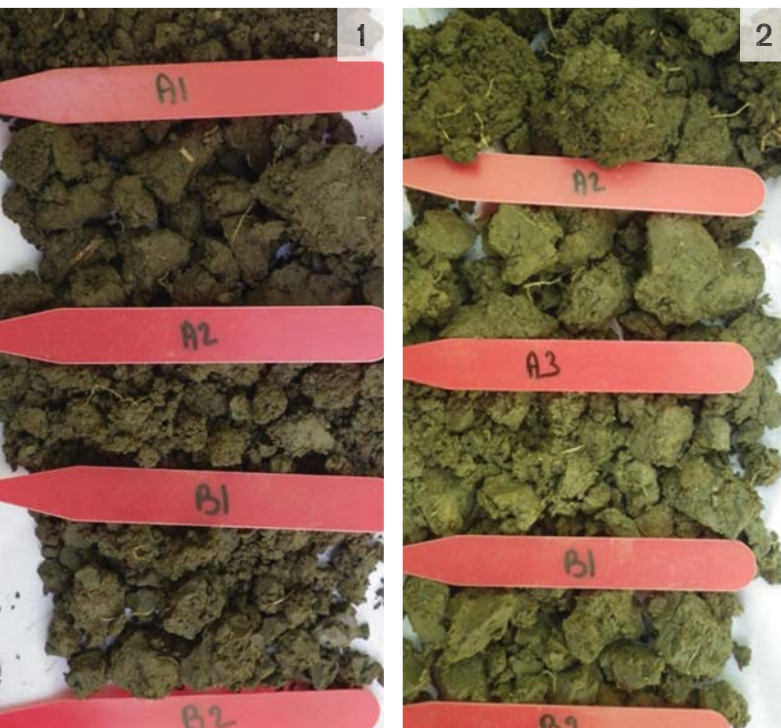
L'essai était situé sur une argile de la série St-Urbain. Le pH du sol était de 7,6 et les teneurs en matière organique et en azote étaient respectivement de 3% et 0,14%. Les teneurs en phosphore et en potassium extraits par la solution Mehlich III étaient de 126 et 497 kg/ha respectivement. Les teneurs en nitrates déterminées avant le semis des cultures de rotation en 2012 étaient faibles. De façon générale, le sol utilisé pour cette expérience était homogène au niveau de tous les paramètres mesurés.

3.2. ANALYSE DU PROFIL DES SOLS

La réalisation de profils de sol est capitale pour pouvoir interpréter les résultats portant sur les rendements de culture en régie biologique. En effet la réponse à la fertilisation varie selon l'état du sol, en particulier lorsque cette dernière est sous forme organique (biomasses de légumineuses, fumiers ou composts). Par exemple, il peut n'y avoir que peu de réponse lorsque le sol est en très bon état car ce dernier est en mesure de fournir une grande partie de l'azote minéralisable de la matière organique du sol. Lorsque le sol est compact, l'effet de la fertilisation peut être variable. Il peut être important si l'enfouissement des matières organiques est assez superficiel de façon à ce que ces dernières soient en situation aérobie pour une décomposition optimale et une bonne fourniture de l'azote aux plantes. Cependant, la situation est différente lorsque les matières organiques sont enfouies en profondeur par le labour dans un sol compact. Les matières organiques incorporées peuvent alors se retrouver en situation anaérobie et ne pas se décomposer efficacement. La réponse à la fertilisation organique peut alors être très faible voir même nulle. Le mode du travail du sol détermine également la profondeur d'enracinement des plantes, affectant ainsi leur croissance et leur nutrition.

Cette étude était située sur un sol de la série Saint-Urbain qui présente généralement une bonne structure. Pendant plusieurs années, les terres reprises par la Plateforme biologique de l'IRDA ont été en location et n'ont pas reçu des régies appropriées pour conserver leur qualité. Une analyse du profil du sol a été donc effectuée en 2012 au début des essais. Pour la plupart des profils de sol, le sol étudié était ainsi en voie de compaction jusqu'à 45 cm environ.

Structure du sol.
Labour (1) versus hersage (2) avec Offset.



Profil du sol.
Labour (3) versus hersage (4) avec Offset.



Le mode du travail du sol peut rapidement changer les conditions du sol, et donc sa fertilité et sa qualité !

L'analyse du profil du sol a été reprise en 2013 afin de déterminer les effets des modes du travail du sol (labour et hersage par Offset) sur les conditions du sol. Les résultats obtenus ont montré que la couche travaillée était décompactée et avait une belle structure granulaire. L'épaisseur du sol ameubli était d'environ 10 cm pour le sol travaillé avec un offset et de 16 cm pour le sol labouré. Lorsque le sol est compact, la profondeur de sol ameubli par le travail du sol peut avoir une très grande influence sur les rendements des cultures. Il serait donc logique d'attendre un meilleur rendement en maïs dans les parcelles labourées.

Lorsque le sol était amendé avec du fumier ou du compost, une couche de fumure organique mal mélangée avec le sol était visible dans les sols labourés démontrant que ces fumures organiques se décomposaient très lentement dans le sol. Avec le hersage du sol avec Offset, les amendements organiques étaient bien mélangés au sol, ce qui pourrait avoir permis une meilleure décomposition des légumineuses et des fumures organiques. Dans les sols labourés, il est possible que le compost ou le fumier se soient décomposés plus lentement que dans le traitement avec Offset, ce qui a pu affecter la nutrition en azote de la culture ainsi que les rendements.

De façon générale, l'étude des profils du sol a indiqué que le sol était en train de se restructurer et devrait s'améliorer rapidement, d'autant plus que le drainage souterrain a été installé sur le site expérimental en 2012.

3.3. TENEUR EN EAU VOLUMIQUE ET TEMPÉRATURE DU SOL

La teneur en eau volumique et la température du sol ont été mesurées ponctuellement à chaque heure pour l'ensemble de la saison à partir du mois de juillet. Ces données ont été mesurées grâce à des sondes de teneur en eau (S-SMD-M005 de Onset) et de température (S-TMB-M006 de Onset) et enregistrées sur des acqui-siteurs de données HOBO (H21-002 de Onset). Ces mesures ont été effectuées à l'intérieur des parcelles ayant comme précédent cultural la vesce velue et l'orge. L'orge était la culture témoin, et la vesce velue était la légumineuse qui avait produit la plus grande quantité de biomasses végétales. Les sondes ont été positionnées à une profondeur de 15 cm. Le câblage de chaque sonde a été introduit dans des tuyaux de carlon disposés sur le rang et fixés sur ce dernier par des attaches métalliques afin de les protéger lors des passages de machinerie agricole.

La teneur en eau volumique (θ_v) est exprimée en m^3 d'eau par m^3 de sol (figures 1 et 2). Des variations de teneur en eau marquées ont été observées, pour l'ensemble des traitements, lors des épisodes de pluie et de sécheresse. Les valeurs de teneur en eau volumique observées du 4 juillet au 4 octobre 2013 ont été comprises entre 0,10 et 0,40 $m^3 m^{-3}$. La teneur en eau était généralement plus élevée dans les sols qui avaient reçu des apports de fumier et de compost. Ces sols ont pu ainsi bénéficier d'une humidité du sol plus importante qui a pu favoriser la croissance du maïs. Cette différence d'humidité qui était de 50% entre les parcelles avec apport de fumures organiques et celles sans apport peut s'expliquer par les matières organiques qui, grâce à leur propriété hydrophile, augmentent la rétention du sol en eau.

Figure 1. Teneur en eau volumique du sol quotidienne moyenne avec la herse à disques offset

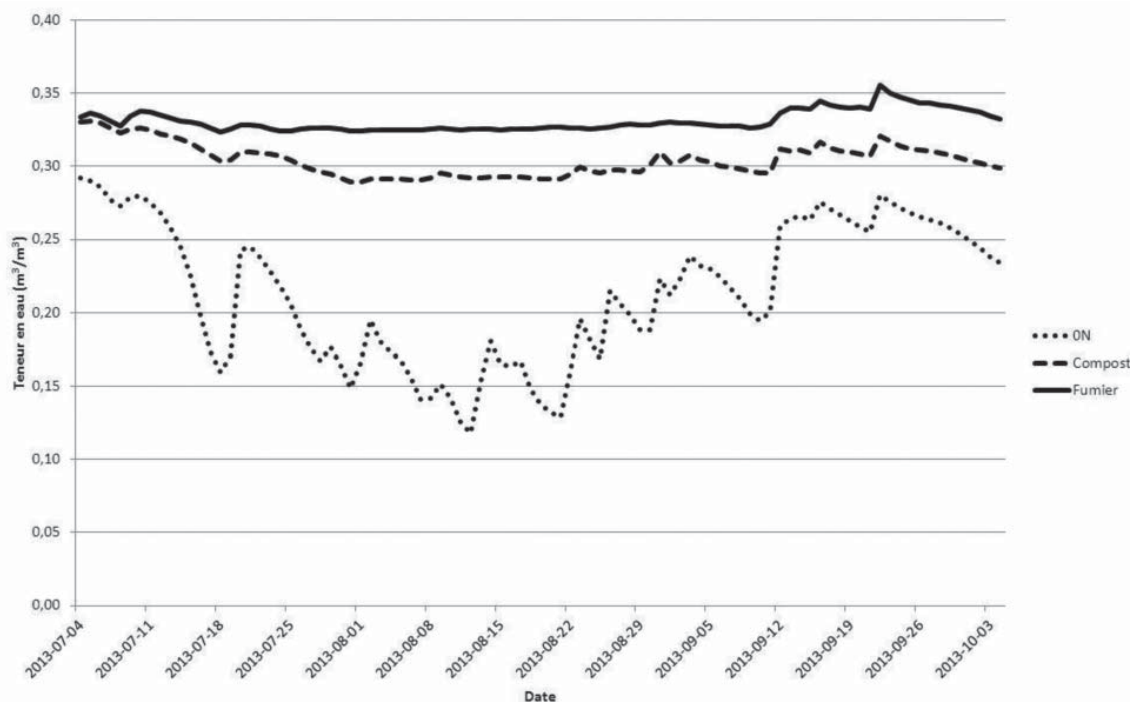


Figure 2. Teneur en eau volumique du sol quotidienne moyenne avec la charrue (parcelle 3) ($m^3 m^{-3}$).

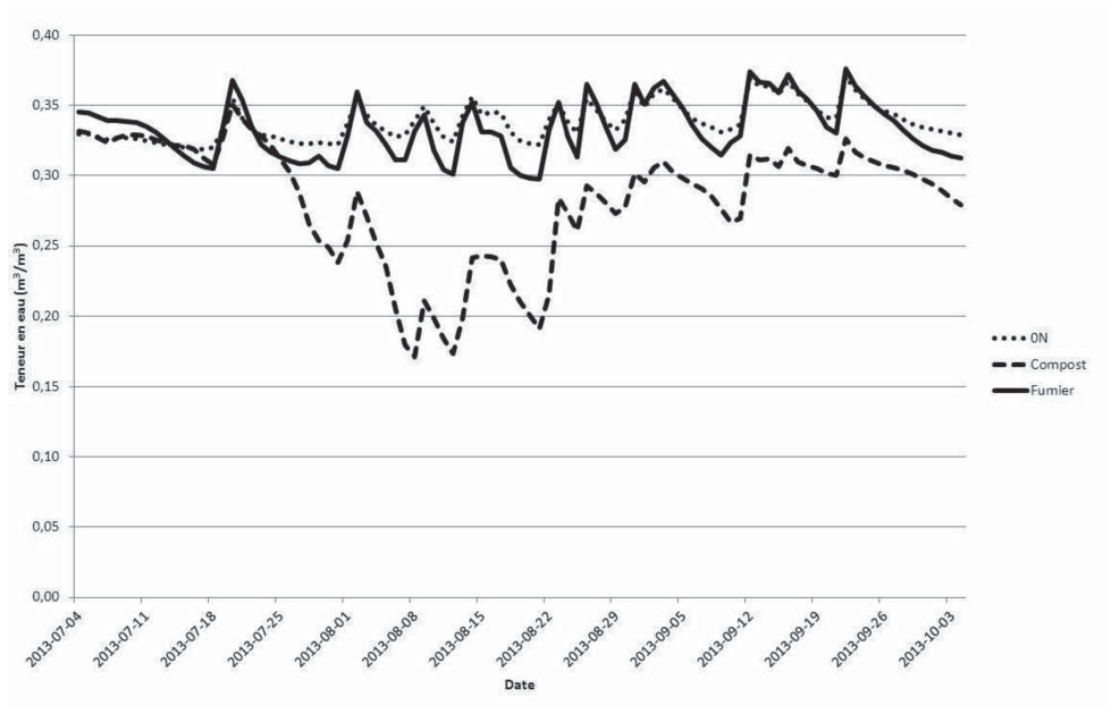
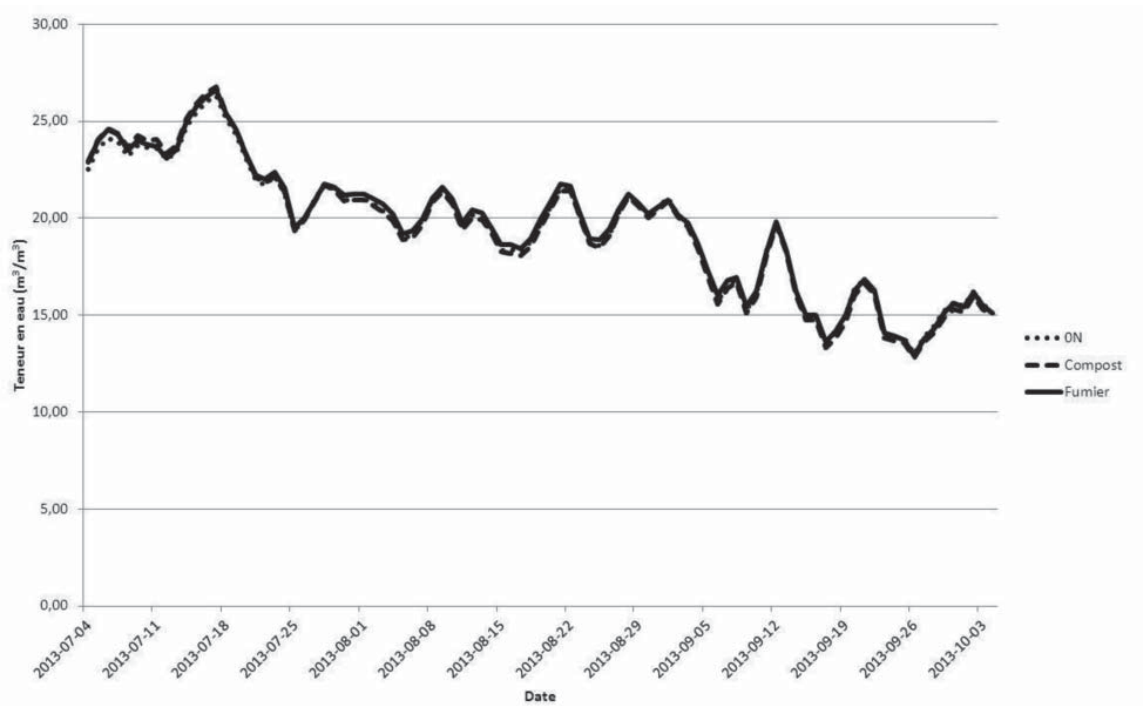


Figure 3. Température du sol quotidienne moyenne ($^{\circ}C$).



Les valeurs de température ont fluctué au cours de la saison, tel que démontré à la figure 3. Cependant, aucune différence n'a été observée entre les différents traitements, tant au niveau du travail du sol qu'à celui de la fertilisation organique.

3.4. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL

Afin de déterminer les changements des propriétés du sol sous les différentes régies agricoles étudiées, l'échantillonnage du sol a été effectuée tout au cours de la période de végétation. Les résultats obtenus ont montré que les différentes cultures de rotation, les fumures organiques ainsi que le mode de travail du sol n'ont pas influencé significativement les teneurs du sol en carbone et en azote, la formation et la stabilité de la structure ainsi que la densité du sol. Plusieurs études ont déjà indiqué que des changements significatifs de ces paramètres du sol sont mesurés seulement après quelques applications de fumier et d'engrais verts. Toutefois, il est surprenant de constater que les apports de fumier, de compost et de biomasses de légumineuses n'aient pas rapidement augmenté les macro-agrégats du sol (entre 0,25-5mm de diamètre). Les macro-agrégats du sol sont formés grâce aux polysaccharides, aux hyphes des champignons et aux exsudats microbiens qui sont formés dans les sols pendant la décomposition de résidus organiques. La faible influence de ces biomasses végétales et des fumures organiques sur la formation des agrégats est attribuable au sol étudié qui était compacté au départ, ainsi qu'aux précipitations abondantes et aux températures froides au cours de la saison de végétation. Ces conditions ont conduit à une faible activité des micro-organismes dans le sol, ce qui n'a pas ainsi permis une décomposition efficace des fumures organiques et des biomasses végétales incorporées.

Les teneurs en nitrates du sol mesurées au stade de 5 à 6 feuilles du maïs (PSNT) ont été significativement augmentées par les précédents de légumineuses en comparaison avec l'orge seul (tableaux 2 et 3). L'effet de la fumure organique n'était pas significatif au seuil de $P < 0,05$. Ces résultats démontrent que l'incorporation des engrais verts de légumineuses en fin d'été et en automne 2012 a favorisé la minéralisation de leurs biomasses, tandis que le fumier et le compost appliqués et incorporés au printemps 2013 n'ont pas suffisamment minéralisé pour enrichir le sol en nitrates. Les teneurs en nitrates ont été légèrement plus élevés dans les sols cultivés avec la herse de type Offset en comparaison avec les sols labourés à la charrue, mais cet effet n'était pas significatif au seuil de $P < 0,05$.

Tableau 2. Teneurs en nitrates (PSNT) des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
	mg N-NO ₃ /kg			mg N-NO ₃ /kg		
Orge semis pur (témoin)	6.2	5.6	5.3	6.3	4.8	10.0
Orge/trèfle incarnat	8.2	5.6	5.8	5.5	5.4	7.6
Orge/trèfle ladino	5.7	6.0	6.7	7.4	7.0	9.7
Orge/trèfle rouge	8.3	9.3	7.9	7.7	5.9	9.5
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	8.8	5.2	9.6	7.0	7.4	9.5
Vesce velue	8.2	7.5	9.3	8.5	6.7	10.2
Luzerne	8.6	10.1	8.1	8.4	7.7	11.2
Pois sec	7.3	5.4	5.0	6.3	5.1	8.5

Tableau 3. Analyse de variance des effets des régies étudiées sur le % en N des plants de maïs et sur les teneurs du sol en nitrates, en uréase et en phosphatase alcaline.

Analyse de variance	N total plants	PSNT	Uréase	Phosphatase alcaline
	Valeur de F			
Travail du sol	2.81*	1.87	0.64	12.28**
Fertilisation	3.14*	1.14	0.21	0.00
Travail du sol x fertilisation	2.85	1.06	1.02	0.40
Précédent cultural	4.92**	4.88**	1.42	0.71
Précédent cultural x travail du sol	1.63	1.12	0.39	1.03
Précédent cultural x fertilisation	1.63	1.27	2.07*	1.03
Travail du sol x précédent x fertilisation	0.59	1.05	0.93	0.57

*, ** significatif à P<0.05 et 0.001 respectivement

PSNT : teneurs en nitrates au stade de 5 à 6 feuilles du maïs

Les teneurs en azote du maïs au stade de 5 à 6 feuilles constituent un indicateur de la disponibilité de l'azote dans le sol, grâce à la minéralisation des résidus organiques, de fumiers ou de composts appliqués au sol. L'analyse de variance a montré un effet significatif du précédent cultural et des fumures organiques (tableau 3). Les teneurs en N du maïs ont été plus élevées dans les précédents de légumineuses, en comparaison avec ceux de l'orge seul (tableau 4). Ces résultats montrent que l'azote contenu dans les biomasses des légumineuses enfouies l'automne précédent a pu se minéraliser et devenir disponible à la culture subséquente tôt dans la saison. L'analyse de variance montre aussi que les teneurs en azote du maïs ont été

Tableau 4. Teneurs en N total des plants de maïs au stade de 5 à 6 feuilles, Saint-Bruno 2013.

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
	% N total			% N total		
Orge semis pur (témoin)	3.4	3.1	3.0	3.7	3.1	3.7
Orge/trèfle incarnat	3.6	3.2	3.0	3.5	3.0	3.6
Orge/trèfle ladino	3.7	3.4	3.5	3.7	3.6	4.0
Orge/trèfle rouge	3.6	3.4	3.4	3.7	3.4	3.9
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	3.6	3.3	3.3	3.5	3.4	3.7
Vesce velue	3.8	3.7	3.4	3.6	3.1	3.8
Luzerne	3.8	3.8	3.5	4.0	3.7	3.9
Pois sec	3.5	3.3	2.9	3.6	3.3	3.3

significativement influencées par les apports de fumure organique, étant plus élevée avec le compost en comparaison avec le fumier solide de bovins (tableau 3). Les conditions de sol compacté ainsi que les fortes précipitations durant la saison de végétation n'ont probablement pas favorisé une décomposition optimale des fumiers ou du compost appliqués au printemps. Cependant, le compost contenait beaucoup plus d'azote minéral que le fumier et ceci explique sa plus grande disponibilité en azote pour la culture.

Le mode du travail du sol a aussi influencé significativement la teneur en azote du maïs à ce stade physiologique du maïs (tableau 3). En effet, les concentrations en azote du maïs ont été plus élevées dans les sols hersés en comparaison avec les sols labourés à la charrue (tableau 4).

L'uréase et la phosphatase alcaline sont des indicateurs du nombre et des activités des microorganismes dans le sol. Les régies agricoles n'ont pas conduit à des changements significatifs de l'uréase du sol (tableaux 3 et 5). Par contre, pour la phosphatase alcaline, l'analyse de variance montre une différence significative à $P < 0,01$ pour le type de travail du sol (tableau 3). En effet, l'activité de la phosphatase alcaline était plus élevée dans les sols hersés avec Offset, en comparaison avec les sols labourés à la charrue (tableau 6). Ces résultats indiquent que le hersage du sol a créé des conditions optimales d'aération et d'humidité qui ont ainsi favorisé une forte activité microbienne, comparativement au labour plus profond. Par conséquent, ce travail du sol a probablement favorisé une meilleure décomposition des biomasses des légumineuses enfouies, ce qui justifie les teneurs élevées en nitrates (tableau 2) ainsi que les concentrations élevées en N des plants de maïs (tableau 4) sous ces précédents de culture.

Tableau 5. Teneurs en uréase des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
	ug N-NH ₄ /g			ug N-NH ₄ /g		
Orge semis pur (témoin)	42.8	49.1	45.8	48.8	57.7	57.6
Orge/trèfle incarnat	46.1	53.3	53.5	54.8	62.7	51.6
Orge/trèfle ladino	56.5	58.2	55.6	56.2	61.3	68.5
Orge/trèfle rouge	39.9	43.6	54.5	63.4	59.8	56.4
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	55.9	52.1	56.0	46.9	58.2	57.6
Vesce velue	56.1	52.8	55.6	46.2	56.8	52.6
Luzerne	53.3	59.2	54.0	46.5	64.3	64.6
Pois sec	53.3	52.1	55.0	47.9	55.6	59.9

Tableau 6. Teneurs en phosphatase alcaline des sols (0-30 cm), Saint-Bruno 2013.

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
	ug PNP/g			ug PNP/g		
Orge semis pur	268	228	243	299	296	341
Orge/trèfle incarnat	306	283	256	298	299	302
Orge/trèfle ladino	256	265	266	304	312	310
Orge/trèfle rouge	273	230	235	308	310	297
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	265	242	250	287	272	309
Vesce velue	234	265	249	319	327	316
Luzerne	236	265	224	300	3.0	324
Pois sec	257	234	253	259	293	291

3.5 QUANTITÉS DE BIOMASSES VÉGÉTALES ET D'AZOTE PRÉLEVÉ (2012)

Les quantités de biomasses produites et enfouies au sol en 2012 ont varié de 2,5 à 3,6 t/ha de matière sèche (tableau 7). Les productions de biomasses les plus élevées ont été obtenues avec la vesce velue (3,6 t ms/ha) (photo 2) et le trèfle rouge (3,5 t ms/ha) (photo 3). Ces quantités de biomasses végétales étaient d'environ 3 t ms/ha pour le trèfle incarnat, le trèfle ladino, le mélange trèfle rouge et ladino et les résidus de récolte du pois. Les biomasses produites par la luzerne ont été les plus faibles à cause d'une croissance très lente observée au cours de la saison de végétation.

Photo 1. Vesce. 24 août 2013.



Au cours de la saison de végétation de l'année 2012, les conditions climatiques ont été peu favorables à une croissance optimale des cultures. Des pluies abondantes à la fin du mois d'avril et au début de mai ont retardé les semis de la céréale principalement et les conditions très sèches du mois de juin, juillet et août ont aussi nui au développement des légumineuses. Toutefois, les quantités de biomasse produites étaient assez importantes, car la plupart des cultures ont poursuivi leur croissance jusqu'à la fin du mois d'août ou de septembre, selon les espèces (tableau 7).

Tableau 7. Biomasses végétales produites et prélèvements en N des diverses légumineuses incorporées en 2012.

	Biomasse incorporée t m.s./ha	Prélèvements en N kg/ha
Orge/trèfle incarnat	3,1	54,8
Orge/trèfle ladino	2,8	56,2
Orge/trèfle rouge	3,5	84,3
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	3,1	72,8
Vesce velue	3,6	88,2
Luzerne	2,5	66,0
Pois sec	2,9	40,4



Les quantités d'azote enfouies dans le sol ont varié de 40 à 88 kg N/ha, selon les espèces de légumineuses (tableau 7). Ces quantités d'azote sont élevées et auraient pu être plus importantes sous des conditions climatiques plus favorables. Les quantités d'azote incorporées ont été proportionnelles aux biomasses enfouies, étant plus élevées pour la vesce velue et le trèfle rouge (> 80 kg N/ha). Les quantités d'azote présentées dans le tableau 7 concernent uniquement les parties aériennes de ces cultures. Une importante quantité d'azote se retrouve aussi dans le système racinaire de ces cultures, représentant entre 10 et 20% de la partie aérienne. Il est donc fort probable que les quantités d'azote fixées de l'atmosphère et retournées au sol soient beaucoup plus importantes.

3.6. RENDEMENTS EN MAÏS ENSILAGE ET PRÉLÈVEMENTS EN AZOTE

Les rendements en matière sèche et les prélèvements en azote du maïs ont varié de 7 à 14 t/ha et de 54 à 122 kg N/ha, respectivement (tableaux 8 et 10). Les précédents avec légumineuses ont tous permis une augmentation des rendements et des prélèvements en azote par rapport à l'orge en semis pur (tableaux 8, 9 et 10). En comparaison avec l'orge seul, les précédents de légumineuses ont en moyenne permis des augmentations de 43% (11140 kg/ha) pour la vesce velue, de 40% pour le trèfle rouge avec le trèfle ladino (10899 kg/ha), de 29% pour le trèfle ladino (10052 kg/ha), de 25% pour le trèfle rouge (9713 kg/ha), de 21% pour le luzerne en semis pur (9449 kg/ha), de 18% pour le trèfle incarnat (9174 kg/ha) et finalement de 16% pour le pois sec (9044 kg/ha).

Même si les rendements en maïs ensilage se situaient dans la moyenne des récoltes généralement obtenues au Québec, les prélèvements en azote semblent faibles. Ces résultats montrent que les conditions de sol compacté et les conditions climatiques de l'année 2013 n'ont pas favorisé une nutrition efficace du maïs en azote.

Tableau 8. Rendements en maïs ensilage (kg m.s/ha), Saint-Bruno 2013 (sarclée).

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
Orge semis pur (témoin)	8557	7820	8016	7001	8514	11851
Orge/trèfle incarnat	9738	8820	9316	8610	9080	11918
Orge/trèfle ladino	10565	10896	11180	9539	10663	12636
Orge/trèfle rouge	10101	11393	11697	9324	10664	12036
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	11313	10896	11887	10485	11472	12001
Vesce velue	13528	12416	13377	8752	10041	14284
Luzerne	10979	10410	11166	7918	9844	9633
Pois sec	9335	10183	8765	8754	9193	12722

Les rendements en maïs ensilage et les prélèvements en azote ont été influencés par la fumure organique (tableau 9). Cependant, les augmentations des rendements et des prélèvements en azote du maïs ont été beaucoup plus élevées avec l'apport de compost que celui des fumiers (tableau 9). Pour tous les précédents et les types de travail du sol confondus, la moyenne des rendements était en effet de 10144 kg /ha pour la fertilisation avec le fumier de bovins et de 11405 kg/ha avec le compost. En comparaison avec les traitements sans fertilisation organique (9656 kg/ha), l'augmentation de rendement était de 5 % avec l'apport de fumier de bovins et de 18% avec le compost.

Tableau 9. Analyse de variance des effets des régies étudiées sur les rendements en maïs ensilage des parcelles sarclées et non sarclées ainsi que sur les prélèvements en azote de la culture sarclée.

	Sarclée	Non sarclée	Prélèvements N
Analyse de variance			
Travail du sol	0.06	0.87	0.02
Fertilisation	2.46*	0.84	1.96*
Travail du sol x fertilisation	1.14	0.92	0.62
Précédent cultural	3.83**	1.35	3.94**
Précédent cultural x travail du sol	1.02	0.47	0.79
Précédent cultural x fertilisation	0.67	0.58	0.55
Travail du sol x précédent x fertilisation	1.34	0.83	0.99

*, ** significatif à P<0.05 et 0.001 respectivement

La quantité totale d'azote organique apportée au printemps 2013 par le compost était de 600 kg N/ha et de 210 kg N/ha pour le fumier de bovins. Selon le guide du CRAAQ, les coefficients d'efficacité calculés pour une première année auraient été de 15% pour le compost et de 45 % pour le fumier de bovins, ce qui aurait, dans des conditions normales de minéralisation, fourni près de 95 kg N/ha à la culture. Selon les résultats obtenus, ces fumures organiques ont fourni peu d'azote à la culture. Le fumier et le compost ont été épandus au printemps et incorporés au sol par le travail du sol. Le sol utilisé pour ces essais était argileux, mal drainé avec un niveau de compaction élevé. Sous ces conditions de sol et avec les précipitations abondantes et les températures froides au cours de la saison de végétation, la décomposition des fumures organiques et leur contribution en azote pour le maïs ont probablement été faibles.

Le travail du sol n'a pas eu un impact significatif sur les rendements et la nutrition azotée du maïs (tableau 9).

Tableau 10. Prélèvements en N du maïs ensilage, Saint-Bruno 2013 (sarclée).

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
Orge semis pur (témoin)	59.38	62.18	61.07	54.63	66.65	91.13
Orge/trèfle incarnat	75.90	66.99	77.48	64.31	77.01	97.24
Orge/trèfle ladino	80.01	90.72	85.42	72.75	79.31	100.84
Orge/trèfle rouge	79.12	93.34	95.59	71.14	85.57	101.50
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	87.82	86.33	103.83	95.91	102.82	97.80
Vesce velue	114.93	101.85	118.69	67.74	83.83	122.03
Luzerne	84.82	82.09	89.59	58.43	79.90	81.19
Pois sec	67.26	80.00	77.55	65.71	74.53	96.95

Les coefficients d'utilisation de l'azote des légumineuses (CUN) ont été calculés selon l'équation : prélèvement N traitement (légumineuse) – prélèvement N (orge seul) / quantité de N des légumineuses incorporée au sol en 2012. Le tableau 11 présente les CUN calculés selon les prélèvements en N des différents traitements confondus. Les coefficients d'utilisation de l'azote des légumineuses ont varié de 26 à 49% pour la vesce velue, le trèfle rouge/trèfle ladino, le trèfle ladino, le pois sec et le trèfle rouge. Ceux-ci ont été plus faibles pour la luzerne et le trèfle incarnat (19-20%). Les coefficients d'utilisation de l'azote des fumiers et des composts étaient très faibles (< 5%).

Tableau 11: Coefficients d'utilisation de l'azote (CUN) des légumineuses pour le maïs, Saint-Bruno 2013 (sarclé).

Précédent cultural	CUN %
Orge/trèfle incarnat	19
Orge/trèfle ladino	34
Orge/trèfle rouge	26
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	35
Vesce velue	49
Luzerne	20
Pois sec	28

3.7. INCIDENCE DE MAUVAISES HERBES

En agriculture biologique, la lutte contre les mauvaises herbes constitue une des principales solutions pour une productivité élevée des cultures. Les effets des légumineuses sur les rendements des cultures subséquentes peuvent être attribuables en partie à la réduction des mauvaises herbes et des maladies, qui constituent des facteurs importants de la diminution des rendements en agriculture biologique.

Le suivi de mauvaises herbes a été effectué dans des micro-parcelles (2m X 2m) non sarclées mécaniquement. Les principales espèces retrouvées, tout traitements confondus, ont été le chénopode blanc (*Chenopodium album*), la renouée persicaire (*Polygonum persicaria*) et l'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) pour les dicotylédones et la sétairie glauque (*Setaria glauca*) et l'échinochloa pied-de-coq (*Echinochloa crusgalli*) pour les monocotylédones.

Photo 3. Sous-parcelle non sarclée. 18 juillet 2013.



Tableau 12. Biomasses sèches (g) des mauvaises herbes annuelles dans les parcelles non sarclées, Saint-Bruno 2013.

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
	(g)			(g)		
Orge semis pur (témoin)	24	11	12	19	25	20
Orge/trèfle incarnat	15	21	12	28	25	14
Orge/trèfle ladino	12	13	18	20	13	16
Orge/trèfle rouge	11	18	25	27	13	45
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	24	17	20	24	25	22
Vesce velue	24	16	37	22	26	29
Luzerne	20	23	16	22	23	31
Pois sec	21	18	17	19	27	28

Analyse de variance	%N total
	Valeur de F
Travail du sol	1.83*
Fertilisation	0.55
Travail du sol * fertilisation	0.05
Précédent cultural	1.62*
Précédent cultural * travail du sol	2.36*
Précédent cultural * Fertilisation	1.03
Travail du sol * précédent * fertilisation	1.23

* significatifs à $P < 0.05$

Les résultats obtenus indiquent que l'application de fumier et de compost n'ont pas eu un impact significatif sur l'incidence de mauvaises herbes (tableau 12). Par contre, les différents précédents de cultures de rotation ont augmenté significativement la croissance et les quantités de biomasses des mauvaises herbes en comparaison avec le précédent d'orge seul. Les biomasses de mauvaises herbes ont été plus élevées dans les sols avec des légumineuses seules (vesce, luzerne), ensuite dans les sols cultivés avec le mélange orge/légumineuses, et faibles dans les sols avec l'orge seul. Les résultats démontrent que la faible croissance de légumineuses seules au début de la saison de végétation et un taux de semis réduit de l'orge dans le mélange orge/légumineuses ont pu favoriser la croissance de mauvaises herbes tôt dans la saison. La disponibilité de l'azote dans les précédents de légumineuses a pu aussi favoriser une plus grande croissance de mauvaises herbes en comparaison avec les fumures organiques.

Les analyses de variance montrent un effet significatif du mode de travail du sol et une interaction significative du précédent cultural avec le travail du sol sur la croissance des mauvaises herbes (tableau 12). En effet, dans les sols labourés, la croissance de mauvaises herbes a été plus faible sous différentes cultures de rotation. Les biomasses de mauvaises herbes étaient beaucoup plus importantes dans les sols hersés avec Offset que dans les sols labourés. Le labour a donc enfoui profondément les racines de mauvaises herbes, retardant ainsi leur croissance.

La répression des mauvaises herbes par les trois passages de sarcleurs au cours de l'été s'est avérée efficace. En effet, la population de mauvaises herbes était faible dans les sections sarclées comparativement à celles non sarclées (photos 3 et 4).

Photo 4. Sous-Parcelle sarclée mécaniquement. 18 juillet 2013.



Les rendements obtenus dans les parcelles non sarclées sont présentés au tableau 13. Pour l'ensemble des parcelles sarclées, le rendement en maïs ensilage était en moyenne de 10 402 kg/ha et de seulement 5954 kg/ha dans les parcelles non sarclées. Le contrôle des mauvaises herbes par les différents sarclages mécaniques a ainsi permis d'augmenter de 75% les rendements en maïs ensilage.

Tableau 13. Rendements en maïs ensilage (kg m.s/ha), Saint-Bruno 2013 (non sarclée).

Précédent	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost Biosol
Orge semis pur (témoin)	4980	3877	6522	5302	3283	5373
Orge/trèfle incarnat	4709	5869	4248	6676	2634	6363
Orge/trèfle ladino	7190	5704	4429	5843	5366	7001
Orge/trèfle rouge	6334	6556	8250	3724	5159	8110
Orge/trèfle rouge et trèfle ladino	7371	5972	6743	3605	5932	6277
Vesce velue	7699	6392	6247	6977	4746	6844
Luzerne	7230	8300	8139	7264	4081	6704
Pois sec	7706	6920	4875	4206	4694	7388

3.8. ANALYSE ÉCONOMIQUE

La méthodologie du calcul économique utilisée a été celle du budget d'exploitation à l'hectare. Celle-ci réalise les marges comme s'il s'agissait de celles d'une entreprise agricole. Elle est inspirée des Références économiques du Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Cette méthode consiste à soustraire les coûts variables des produits à l'hectare (revenus bruts) pour obtenir une marge sur les coûts variables à l'hectare (revenus nets).

Les produits étaient composés des ventes de grains d'orge, de pois sec et de pailles d'orge en 2012, ainsi que de maïs ensilage en 2013. Ces ventes ont été réalisées aux prix du marché du programme d'assurance stabilisation des revenus de la Financière agricole du Québec pour l'année considérée ainsi que les compensations d'assurance stabilisation.

Les coûts variables se décomposaient en coûts d'approvisionnements, d'opérations culturales, de mise en marché et d'autres coûts à l'hectare. Les coûts d'approvisionnements comprenaient les frais pour les semences et les fertilisants organiques. Les coûts des opérations culturales étaient constitués des coûts variables des machineries agricoles utilisées pour labourer, herser, semer, récolter et ensiler la récolte. Les coûts des opérations culturales étaient des moyennes de coût aux agriculteurs pour l'opération concernée. Ces coûts ont été tirés de l'Agdex 740/825 des Références économiques pour l'année considérée. Ces coûts variables de machinerie comprenaient également les frais d'entretien et de réparations de la machinerie aratoire et du tracteur (utilisation 500 heures par an). Les coûts du carburant diesel (1 \$ le litre) et des lubrifiants (+ 15% des coûts des carburants) ont aussi été ajoutés aux coûts variables. La différence entre la valeur des produits et les coûts variables a ainsi donné la marge sur les coûts variables à l'hectare (revenus nets).

Les récoltes d'orge obtenues en 2012 n'étaient pas élevées et elles n'ont pas augmenté les revenus nets dans les régies avec l'orge seul ou l'orge associé aux légumineuses. Les revenus nets étaient proportionnels aux rendements de maïs produits en 2013 dans chaque précédent cultural. Les rotations incluant la vesce velue, le mélange trèfle rouge/ladino, et le trèfle ladino ont accru les rendements en maïs en 2013 et ils présentaient également des revenus supérieurs ou égaux au précédent d'orge seul (tableau 14). Les revenus les plus élevés ont été obtenus pour le précédent de pois sec, qui a permis deux récoltes vendables de pois et de maïs en 2012 et en 2013, respectivement. Les revenus nets obtenus avec les meilleures légumineuses ont représenté entre 57 et 77 % de ceux obtenus dans le précédent de pois sec. Les précédents de trèfle incarnat et de luzerne ont donné les plus faibles revenus car ces régies n'avaient pas conduit à des rendements élevés en maïs ensilage.

Avec l'apport de fumier de bovins, les revenus nets ont été plus faibles (tableau 14). Les apports de compost ont conduit à des pertes importantes de revenus à cause du coût élevé pour l'acquisition et le transport de ce produit. Les faibles revenus nets obtenus avec les apports de fumier et de compost sont attribuables aux conditions climatiques pluvieuses et froides de la saison de 2013 qui n'ont pas permis une bonne décomposition de ces fumures organiques et une meilleure valorisation de l'azote par le maïs. Dans de meilleures conditions climatiques, ces fumures organiques pourraient cependant fournir de l'azote aux cultures et améliorer les conditions physiques et biologiques du sol à moyen et long terme, maintenant de cette façon la productivité du sol.

Tableau 14. Marges des produits sur les charges variables pour les années 2012 et 2013.

Précédents	Labour			Offset		
	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost	Sans fertilisation	Fumier de bovins	Compost
Marges des produits sur les charges variables (\$/ha)						
Orge	1766	863	- 5315	1387	1066	- 4303
Orge/trèfle incarnat	1500	572	- 5530	1247	674	- 4847
Orge/trèfle ladino	1785	1161	- 4992	1533	1136	- 4612
Orge/trèfle rouge	1643	1272	- 4881	1467	1121	- 4779
Orge/ trèfle rouge et ladino	1955	1154	- 4822	1780	1333	- 4770
Vesce velue	2430	1452	- 4524	2268	1372	- 4270
Luzerne	1474	1122	- 4905	1216	997	- 5283
Pois sec	3142	2645	- 3899	3030	2420	- 3022

4. CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que les légumineuses ont significativement augmenté les rendements en maïs ensilage et les prélèvements en azote. Les légumineuses ont été incorporées au sol en 2012 et elles ont pu se décomposer efficacement au cours de l'automne 2012, ce qui explique leurs effets bénéfiques sur la croissance et la nutrition en azote du maïs. Les coefficients d'utilisation de l'azote des légumineuses étudiées ont varié entre 20 et 49%, soit entre 15 et 50 kg d'azote par hectare. Les effets bénéfiques ont été plus importants pour les précédents de vesce velue, de trèfle rouge / ladino, de trèfle rouge et de trèfle ladino.

Les apports de compost ont également augmenté les rendements et la nutrition en azote du maïs, en comparaison avec le fumier solide de bovins. Le compost contenait une fraction minérale plus élevée, alors que l'azote du fumier se trouvait principalement sous forme organique et devait par conséquent être minéralisé avant de devenir disponible à la culture. Par ailleurs, ces fumures organiques ont été appliquées au printemps dans un sol compacté. Ces conditions de sol associées au climat pluvieux et froid de 2013 n'ont pas permis une minéralisation optimale de l'azote organique et sa disponibilité à la culture de maïs.

À court terme, les précédents de légumineuses et les fumures organiques n'ont pas amélioré la structure et la densité du sol, ni augmenté les teneurs en carbone et en azote. Les précédents de légumineuses et les apports de compost ont cependant augmenté les teneurs du sol en nitrates ainsi que les concentrations en azote des plants de maïs au stade de 5 à 6 feuilles.

Contrairement au labour, le hersage du sol avec Offset a permis l'augmentation de l'activité de la phosphatase alcaline, qui est reliée au nombre et à l'activité des microorganismes du sol, et il a ainsi accru les teneurs en azote des plants. Les précédents de légumineuses et le compost ont augmenté significativement les rendements du maïs et les quantités d'azote disponible, ce qui indique que combinées, ces deux sources organiques peuvent combler les besoins des cultures en azote.

Sous des conditions climatiques favorables, les légumineuses et les fumures organiques peuvent accroître à court et moyen terme la productivité des sols. L'incorporation superficielle de ces sources d'azote dans le sol est cependant nécessaire afin d'optimiser leur décomposition et améliorer rapidement la nutrition azotée des cultures et les propriétés du sol.

5. REMERCIEMENTS

Cette recherche a été réalisée grâce au financement octroyé par le programme PCAA du Gouvernement du Canada et celui d'INNOVBIO du Ministère d'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec. La recherche a également reçu un soutien financier de l'Institut de recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA). La collaboration de l'IRDA et du CETAB+ a permis de couvrir rapidement beaucoup d'aspects de la recherche et d'atteindre une large clientèle. De vifs remerciements sont adressés aux équipes techniques de l'IRDA à Saint-Lambert, à Saint-Bruno et au Complexe scientifique pour l'établissement des parcelles, le suivi des régies et les analyses de laboratoire.

