

UNE GESTION EFFICACE DE L'AZOTE POUR L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

ADRIEN N'DAYEGAMIYE, CAROLINE CÔTÉ, PAUL DESCHÊNES ET MYLÈNE GÉNÉREUX

FAITS SAILLANTS

Cette recherche de cinq ans (2012-2016) a démontré que, sous des conditions climatiques favorables à la minéralisation, certaines espèces de légumineuses (trèfle rouge, mélange de trèfle rouge et de trèfle blanc, vesce velue) combinées aux engrais organiques ou aux composts ont accru la productivité du maïs et l'efficacité de l'azote en régie biologique.

Une gestion efficace des sources d'azote et du mode de travail du sol est essentielle pour accroître la rentabilité des productions biologiques. L'agriculture biologique fait face à un défi constant : maintenir sa productivité et sa compétitivité sans recourir à certains intrants de production, dont l'azote minéral.

L'intégration fréquente de légumineuses dans les rotations constitue ainsi une importante source d'azote en agriculture biologique. Toutefois, à elles seules, les légumineuses dans les rotations ne peuvent pas toujours couvrir entièrement les besoins des cultures en azote. Il est alors nécessaire d'importer à la ferme des fumiers frais ou des composts afin de combler les besoins des cultures en éléments nutritifs.

Pour bien gérer les légumineuses, les fumiers et les composts, il est essentiel de connaître les quantités en éléments nutritifs (N, P ou K) valorisées par la plante cultivée après leur incorporation au sol (coefficients d'efficacité). Or, le choix du mode de travail du sol peut influencer l'efficacité de ces différentes sources d'éléments nutritifs.

HYPOTHÈSES POURSUIVIES

- Les cultures de légumineuses et les compléments de fumier ou de compost peuvent optimiser la nutrition en azote du maïs et augmenter ainsi les rendements.
- De meilleures pratiques culturales d'incorporation de ces sources organiques pourraient favoriser leur taux de minéralisation et aussi améliorer les conditions du sol qui favorisent la croissance et la nutrition de la culture.



MÉTHODOLOGIE

Trois éléments de régie ont été étudiés depuis 2012 dans un dispositif expérimental établi à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de Saint-Bruno-de-Montarville. Le principal facteur étudié était le mode de travail du sol où le labour conventionnel était comparé au travail réduit (herse à disques *Offset*).

Le second facteur étudié consistait en 8 différentes cultures de rotation, soit :

1. l'orge (témoin);
2. l'orge/trèfle incarnat;
3. l'orge/trèfle blanc (Ladino);
4. l'orge/trèfle rouge;
5. l'orge/trèfle rouge et le trèfle blanc;
6. la vesce velue;
7. la luzerne annuelle;
8. le pois sec.

Le troisième facteur étudié était l'apport de fumier solide de bovins et de compost Biosol comparé aux sols avec légumineuses qui ne recevaient pas des applications de fumures organiques. Ces engrais organiques ont été apportés à la dose de 40 t/ha sur base humide.

La contribution et l'efficacité en azote des légumineuses et des fumures organiques ont été évaluées sur la culture de maïs en 2013 et 2015 et sur le blé panifiable en 2016 (effet résiduel).

RÉSULTATS (2014-2015)

Les quantités d'azote des légumineuses

Les quantités d'azote total produites par les différentes légumineuses et incorporées au sol ont varié de 30 à 78 kg N/ha en 2014 (Tableau 1). Elles étaient plus élevées pour la vesce velue (78 kg N/ha) et variaient entre 55 et 64 kg N/ha pour les différentes espèces de trèfle. Ces valeurs sont moins élevées que celles généralement obtenues dans des conditions plus tempérées des États-Unis (>120 kg N/ha).

CARACTÉRISTIQUES DU FUMIER ET DU COMPOST

Les quantités d'azote total du fumier et du compost incorporés à l'automne 2014 étaient élevées, sont de 196 et 324 kg N/ha respectivement (Tableau 2). Les fumures organiques, qui ont été appliquées à la dose de 40 t/ha sur base humide, ont aussi apporté d'autres éléments nutritifs (P, K, Ca et Mg) en quantités élevées. Même si les teneurs en éléments nutritifs étaient presque identiques pour les deux fumures organiques, les quantités totales apportées par le compost Biosol étaient deux à trois fois plus élevées que celles du fumier solide de bovins. Cela indique que le compost pourrait favoriser une meilleure nutrition du maïs en ces éléments.

RENDEMENTS EN MAÏS (2015) ET PRÉLÈVEMENTS EN AZOTE

L'analyse de variance a indiqué que les cultures de légumineuses ont eu un effet très significatif ($p < 0.01$) sur les rendements en maïs-grain et en biomasse aérienne, sur les prélèvements en azote, ainsi que sur le poids spécifique des grains (Tableau 3). Les apports d'engrais organiques (fumier de bovins et compost Biosol) ont également influencé significativement ces paramètres de production, à l'exception du poids spécifique. L'effet du mode de travail du sol était significatif sur les rendements en maïs-grain et le poids spécifique ($p < 0.05$).

Tableau 1. Moyennes des rendements de légumineuses^a, des quantités de N ajoutées au sol, des contenus en C et N et des rapports C/N (2014).

LÉGUMINEUSES	RENDEMENTS t m.s./ha	C (%)	N (%)	QUANTITÉ DE N (kg/ha)	C/N
Luzerne	1,4	41,9	1,99	28,8	18
Vesce velue	1,8	44,2	4,35	77,9	10
Trèfle blanc ^b	2,0	41,8	2,76	55,4	15
Trèfle rouge	2,1	42,8	2,83	60,2	15
Trèfle rouge et blanc	2,2	43,0	2,91	64,1	15
Trèfle incarnat	2,3	42,5	2,39	54,7	18

^a Trèfle blanc Ladino

^b La culture de petit pois a eu une mauvaise germination et une faible croissance, et elle a été par la suite envahie par les mauvaises herbes. Par conséquent, sa récolte n'était pas réalisable.

Tableau 2. Caractéristiques du fumier de bovins et du compost Biosol appliqués au sol à l'automne 2014^c.

PARAMÈTRES	FUMIER DE BOVINS	KG /HA	COMPOST BIOSOL	KG/HA
pH eau	7,82		7,29	
Matière sèche (%)	23,5		46,77	
N-NH4 (mg/kg)	1491		344	
N-NO3 (mg/kg)	3,03		791	
N total (%)	2,78	196	2,31	324
C organique (%)	35,43	2497	29,77	4177
C/N	12,8		12,9	
P total (%)	0,51	40	0,99	134
K total (%)	2,15	151	1,98	278
Ca (%)	1,96	138	2,66	373
Mg (%)	0,96	68	0,72	101

^c Les teneurs en éléments nutritifs sont exprimées sur base sèche.

Tableau 3. Analyse de variance sur les rendements en maïs-grain et en biomasse aérienne, les prélèvements en azote ainsi que sur le poids spécifique des grains en 2015.

ANALYSE DE VARIANCE	MAÏS-GRAIN	BIOMASSE AÉRIENNE	PRÉL EN N	POIDS SPÉCIFIQUE DES GRAINS
	Valeur de F			
Travail du sol	15,03 ^d	7,35	5,70	10,85 ^d
Fertilisation	6,30 ^d	12,73 ^e	4,83 ^d	3,97
Travail du sol x fertilisation	0,18	0,53	0,03	1,16
Précédent cultural	27,84 ^e	24,86 ^e	29,98 ^e	8,02 ^e
Précédent cultural x travail du sol	1,55	1,38	2,05	1,88
Précédent cultural x Fertilisation	1,07	1,32	1,28	0,89
Travail du sol x précédent x fertilisation	1,20	0,88	1,01	0,77

^d ° Significatif à $p > 0,05$ et $0,001$ respectivement.

Figure 1. Effet du travail du sol à la herse, des légumineuses, du fumier et du compost sur les rendements en maïs-grain en 2015.

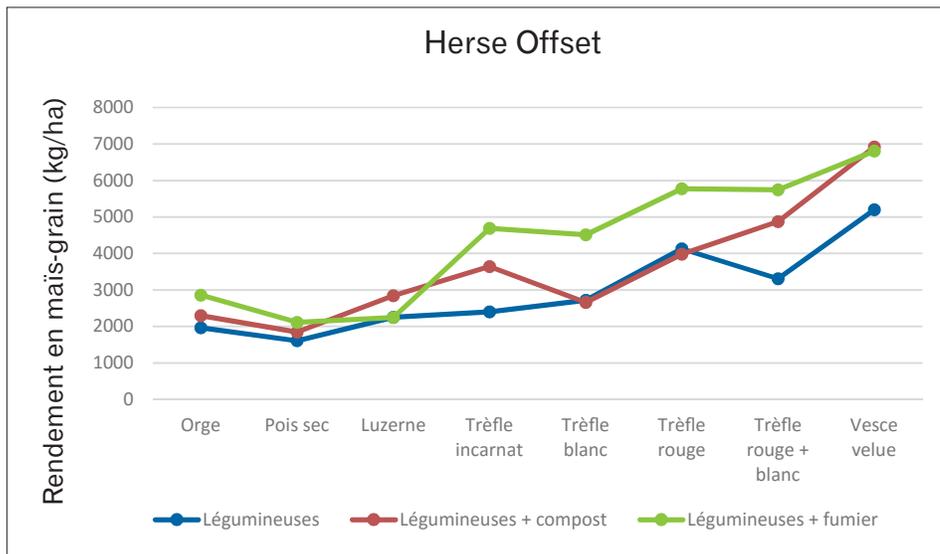
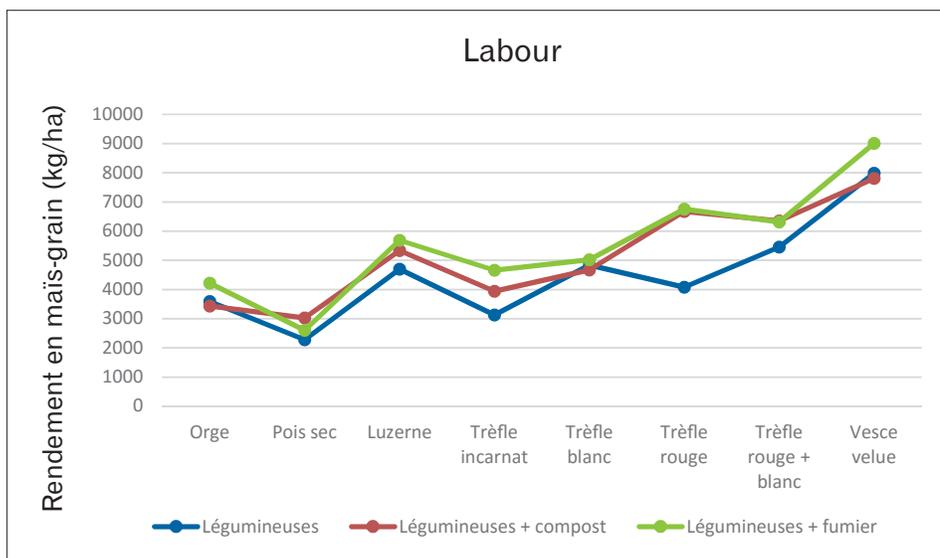


Figure 2. Effet du labour du sol, des légumineuses, du fumier et du compost sur les rendements en maïs-grain en 2015.



Les rendements en maïs-grain ont varié de 2246 à 7290 kg/ha (Figures 1 et 2). Les plus faibles rendements en grains ont été obtenus avec le précédent de pois sec (2246 kg/ha) suivi par celui de l'orge (3059 kg/ha) qui était considéré comme témoin. La croissance du pois sec n'avait pas été bonne en 2014, et les quantités de biomasse et d'azote incorporées au sol étaient négligeables. Par contre, la germination de grains d'orge après la récolte de la céréale et sa croissance durant l'automne a probablement permis de produire une quantité de biomasse qui a apporté des quantités d'azote dans le sol ou amélioré les conditions de sol.

Les précédents de légumineuses ont permis d'importantes augmentations de rendements en maïs-grain. En comparaison avec l'orge utilisé comme plante témoin ne fixant pas d'azote, les différentes légumineuses ont permis des augmentations de grains variant de 685 à 4231 kg/ha. Ces augmentations étaient beaucoup plus élevées pour le trèfle rouge, le trèfle rouge en mélange avec le trèfle Ladino (2230 kg/ha) et la vesce velue avec 4231 kg/ha (Figures 1 et 2).

Par rapport aux sols avec des légumineuses seules sans apport d'engrais organique, les apports de compost Biosol et de fumier de

bovins ont respectivement augmenté les rendements en grains de 18 et 32 %. Les rendements en grains étaient plus élevés avec l'ajout de fumier par rapport au compost Biosol même si les apports en nutriments étaient plus élevés avec le compost (Figures 1 et 2).

Le mode de travail du sol a également influencé les rendements en maïs-grain (Figures 1 et 2). En effet, le labour a conduit à des augmentations de 39 % (1425 kg/ha) de rendement en grains, en comparaison au travail de sol avec la herse *Offset*.

Les résultats obtenus ont montré que les rendements en maïs-grain obtenus avec les légumineuses les plus performantes variaient de 5233 à 7290 kg/ha (Figures 1 et 2). Cependant, ces rendements en maïs-grain étaient inférieurs aux moyennes de production obtenues en agriculture conventionnelle dans la région de la Montérégie (> 8000 kg/ha) où a été effectuée cette expérimentation.

http://www.sta.gouv.ca/statistiques/agriculture/grandes_cultures/index.html

Toutefois, les rendements en maïs-grain obtenus semblent élevés et intéressants pour une production en régie biologique où l'incidence des mauvaises herbes et la sous-fertilisation peuvent diminuer la productivité par rapport à la régie conventionnelle où les herbicides et les engrais de synthèse sont utilisés pour remédier à ces problèmes.

LES PRÉLÈVEMENTS EN AZOTE DU MAÏS

Les quantités d'azote prélevées par le maïs ont varié entre 35 et 115 kg N/ha selon les cultures de légumineuses (données non présentées). Elles étaient en moyenne de 58 kg N/ha sous le précédent de luzerne, de trèfle incarnat et de trèfle Ladino. Elles variaient de 79 à 115 kg N pour le précédent de trèfle rouge, de mélange trèfle rouge-Ladino et de la vesce velue. Les prélèvements en azote ont varié dans le même ordre que les rendements en maïs-grain :

luzerne-trèfle incarnat-trèfle blanc (Ladino) < trèfle rouge-trèfle rouge/trèfle Ladino < vesce velue.

LES COEFFICIENTS D'UTILISATION DE L'AZOTE

Les coefficients d'utilisation de l'azote (CUN) des légumineuses, du fumier de bovin et du compost ont été calculés avec l'équation suivante :

Prélèvements en N dans les précédents de légumineuse, de fumier ou de compost-Prélèvements en N sous le précédent de l'orge/Quantité de N des légumineuses, du fumier ou du compost incorporés au sol en 2014.

Le calcul des apports d'azote du compost et du fumier a été effectué de la façon suivante :

Prélèvements de N dans les traitements de légumineuses avec ajout de compost ou de fumier – prélèvements de N dans les sols avec légumineuses seules.

Les quantités d'azote incorporées au sol en 2014 étaient de 29 kg N/ha pour la luzerne, de 55 kg N/ha pour le trèfle incarnat et le trèfle Ladino, de 60 kg N/ha pour le trèfle rouge et de 64 kg N/ha pour le mélange de trèfle rouge et trèfle Ladino, et de 79 kg N/ha pour la vesce velue (Tableau 1). Sans apport d'engrais organique, les coefficients d'utilisation de l'azote par le maïs ont varié de 10 à 54 % selon les espèces de légumineuses (Tableau 4). Les coefficients d'utilisation d'azote les plus élevés étaient obtenus dans les précédents de trèfle rouge et de trèfle blanc Ladino, de mélange trèfle rouge et blanc et de la vesce velue. Par rapport aux prélèvements de N par le maïs dans le sol témoin en orge, les précédents de trèfle rouge et de trèfle rouge/Ladino ont produit en moyenne une augmentation de prélèvement de 20 kg N/ha tandis que celui de la vesce velue a contribué 41 kg N/ha supplémentaires.

Toutefois, ces résultats montrent que les quantités d'azote minéralisées des biomasses de légumineuses n'étaient pas suffisamment élevées pour combler la nutrition en azote du maïs. Par conséquent, il était nécessaire d'apporter des fumures organiques pour compléter les besoins en azote de la culture. Les coefficients d'utilisation de l'azote du compost Biosol ont varié de 4 à 24 % selon les précédents de légumineuses (Tableau 4) alors que ceux du fumier de bovins étaient plus élevés et variaient entre 8 et 31 %.

Tableau 4 : Coefficients d'utilisation de l'azote (CUN) des légumineuses, du compost Biosol et du fumier de bovins par la culture de maïs en 2015

PRÉCÉDENTS DE LÉGUMINEUSES	LÉGUMINEUSES SANS ENGRAIS ORGANIQUES	COMPOST BIOSOL ^f	FUMIER DE BOVINS ^f
		(%)	
Luzerne	10	11	18
Trèfle incarnat	22	4	9
Trèfle Ladino	33	5	8
Trèfle rouge	33	17	29
Trèfle rouge/Ladino	39	16	25
Vesce velue	54	24	31

^f CUN pour le compost et le fumier, seulement.

Les coefficients d'utilisation du compost et du fumier obtenus sous les précédents de trèfle rouge, de trèfle rouge/Ladino et de vesce velue étaient plus élevés que ceux des autres légumineuses étudiées (Tableau 4). Ces coefficients élevés montrent que l'incorporation des biomasses de ces légumineuses a apporté de l'azote et probablement amélioré les conditions du sol (aération, circulation de l'eau, potentiel de minéralisation de l'azote) qui ont par conséquent permis une bonne croissance du maïs ainsi qu'une utilisation optimale de l'azote du sol et des fumures organiques appliquées. Les quantités d'azote apportées au sol avec le fumier de bovins et le compost étaient de 196 et de 324 kg N/ha respectivement (Tableau 2). Dans les sols avec les légumineuses les plus performantes (trèfle rouge, trèfle rouge/Ladino et vesce velue), le prélèvement additionnel d'azote par la culture de maïs lié à l'apport de compost Biosol et de fumier variait entre 49 et 78 kg de N/ha. Ainsi, par exemple, les quantités supplémentaires d'azote prélevées par le maïs dans la parcelle de vesce sans engrais organique étaient en moyenne de 43 kg de

N/ha provenant de la légumineuse seule, de 99 kg N/ha dans les parcelles de vesce complétées par l'apport de fumier et de 114 kg N/ha avec l'application de compost.

Les coefficients d'utilisation en azote des légumineuses les plus performantes étaient plus élevés que ceux du fumier et du compost, qui pourtant sont comparables à ceux qui sont généralement recommandés par le CRAAQ pour ces produits en agriculture conventionnelle. Les coefficients d'utilisation de l'azote des légumineuses et des engrais organiques étaient plus faibles que ceux généralement obtenus pour l'engrais de synthèse (40 à 60 %) et cela explique les plus faibles rendements obtenus par rapport à ceux des productions conventionnelles. Ces matières organiques apportent de l'azote organique au sol qui doit être minéralisé par les microorganismes avant de devenir disponible à la culture. Il est possible que les conditions climatiques sèches de l'été de 2015 n'aient pas favorisé des taux élevés de minéralisation d'azote de ces sources organiques.



CONCLUSION

Trois précédents de légumineuses (trèfle rouge, trèfle rouge/Ladino et vesce velue) ont été les plus performants sur le rendement en maïs-grain et la qualité du grain ainsi que sur la nutrition en azote. Ils ont permis des augmentations de grains variant de 2230 à 4231 kg/ha.

Les ajouts de compost Biosol et de fumier de bovins ont augmenté les rendements en grains de 18 et 32 % respectivement en comparaison avec les légumineuses seules.

Les rendements en maïs-grain obtenus sous ces précédents de légumineuses (5000 à 7290 kg/ha) ont été moins élevés que ceux produits en régie conventionnelle avec intrants de synthèse (<8000 kg/ha), mais peuvent être considérés fort intéressants sous régie biologique.

Dans les sols sous labour, les quantités de mauvaises herbes étaient plus faibles, en comparaison avec les sols hersés. Cette pratique culturale a ainsi amélioré la disponibilité en azote et la productivité en maïs.

Les bénéfices des légumineuses, des fumiers et des composts ne concernent pas uniquement les apports en azote pour les cultures suivantes et leurs rendements, mais aussi l'amélioration significative des propriétés des sols (action indirecte), et, par conséquent, l'augmentation des productions. Les effets de ces sources organiques sur la formation et la stabilité de la structure, les activités biologiques et enzymatiques et la biodiversité microbienne ont été évalués en 2016. Ces résultats seront diffusés sous peu.



PARTENAIRES DE RÉALISATION ET DE FINANCEMENT



POUR EN SAVOIR
DAVANTAGE

Adrien N'Dayegamiye, agr., Ph. D.
418 643-2380
adrien.ndaye@irda.qc.ca

Ce projet de cinq ans (2012-2016) sur les sources d'azote et les modes du travail du sol en agriculture biologique a été financé par le programme INNOV'ACTION du MAPAQ et par l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA).