Bois

Tuyau

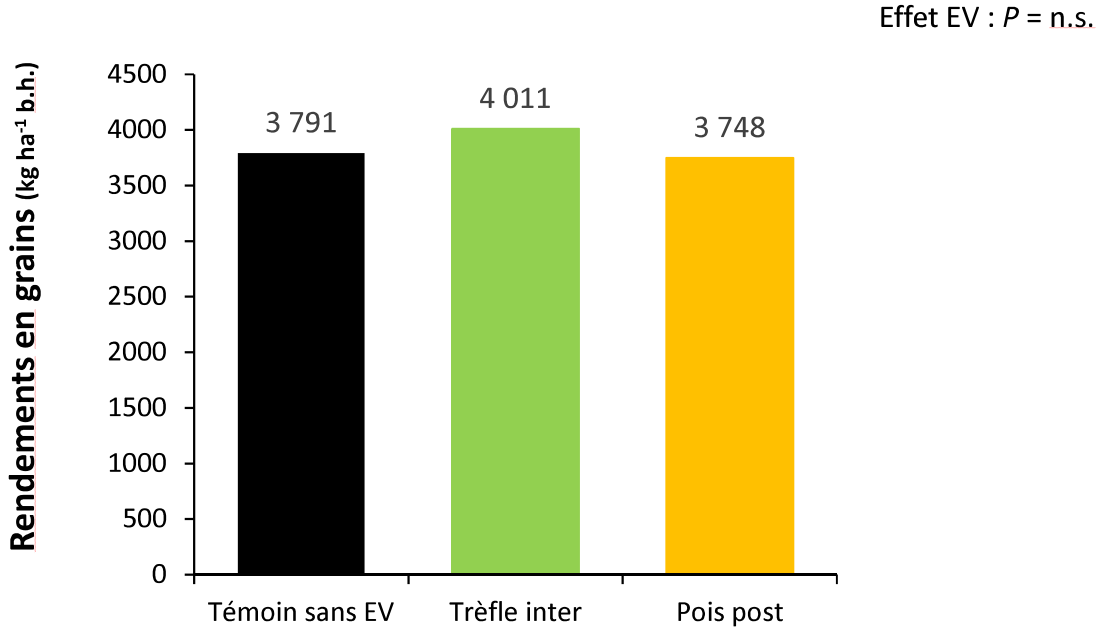

Figure 4. Rendements en grains de blé (14 % hum.) en fonction des engrais verts, le 21 août 2015.

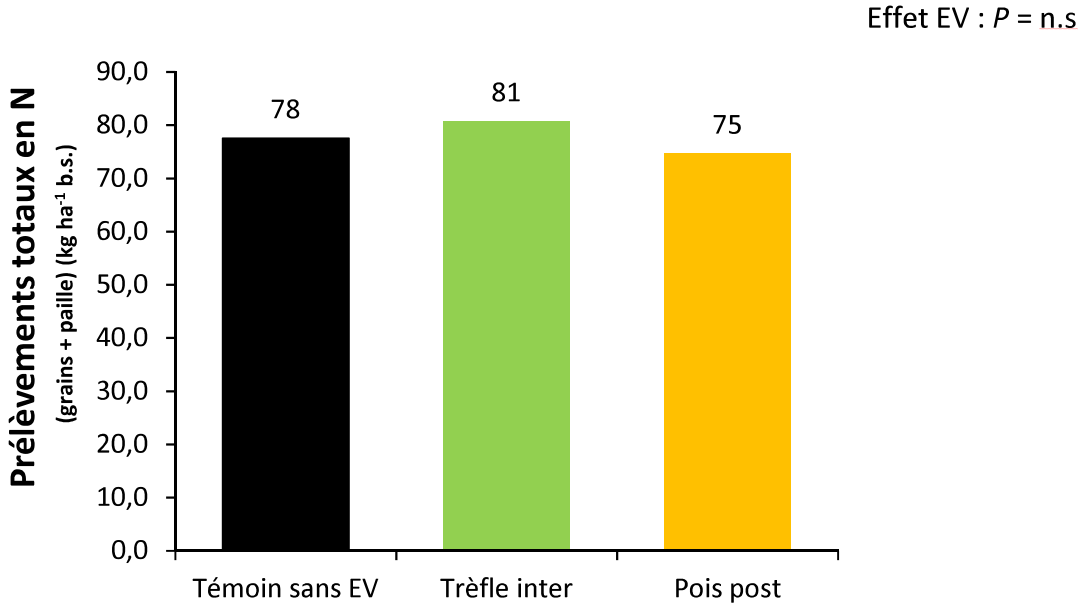

Figure 5. Prélèvements totaux (grains et pailles) en N du blé en fonction des engrais verts, le 21 août 2015.

Lors de la récolte de blé (21 août 2015), juste avant les semis du pois, les charges en nitrate ($N\text{-}NO_3$) du sol de tous les traitements étaient similaires et peu élevées (Effet EV à $P = 0{,}3357$), variant entre 11 et 13 kg $N\text{-}NO_3$ ha^{-1} (Figure 6). En automne, juste avant l'enfouissement des EV, même si les charges étaient toujours peu élevées, les sols des

traitements de pois et de trèfle avaient tout de même des charges en N-NO_3 qui tendaient (Effet EV à *P* = 0,1154) à être plus élevées que celles de la parcelle témoin (sans EV), de l'ordre de 2,4 et 1,9 fois supérieures, respectivement. La présence de la couverture d'EV, surtout du pois a donc permis de conserver une plus grande concentration de N-NO_3 dans la couche supérieure de sol 0-20 cm que le traitement témoin laissé à nu. Il se peut aussi que ces légumineuses aient enrichi le sol en N par leurs exsudats racinaires.

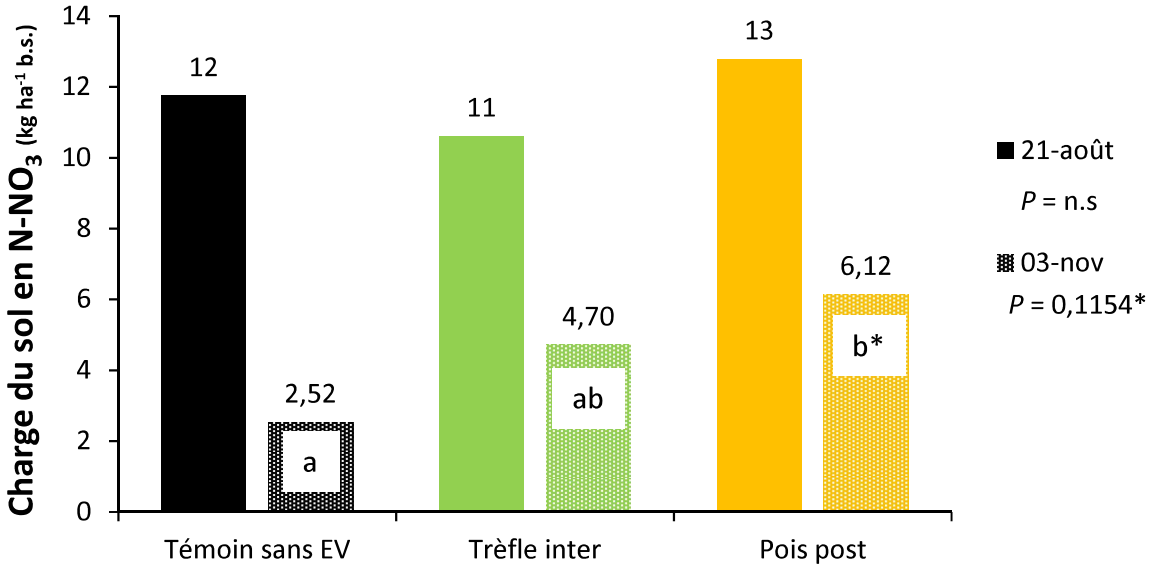

Figure 6. Contenu du sol (strate 0-20 cm) en N-NO_3 à la récolte du blé le 21 août et juste avant l'enfouissement des engrais verts, le 3 novembre 2015. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

3.3 MAÏS-GRAIN (2016)

3.3.1 Analyses ponctuelles du sol

Au printemps 2016, avant les semis du maïs-grain et les apports d'EF de printemps, l'analyse de sol des parcelles d'EV n'ayant pas reçu de FPA montrait que leurs contenus en nitrate étaient similaires à ceux mesurés à l'automne 2015 dans ces mêmes parcelles. À l'inverse, le contenu en N-NO_3 était 1,8 fois plus élevé au printemps qu'à l'automne dans les parcelles témoin sans EV (Tableau 2). Ainsi au printemps 2016, les sols de toutes les parcelles sans EF, avec ou sans EV enfouis, présentaient des contenus en nitrate similaires. Le sol des sous-parcelles ayant reçu les apports de FPA en automne présentait, cependant, des concentrations en moyenne 2,2 fois plus élevées (non analysé statistiquement) que celles des sous-parcelles n'ayant pas encore reçu d'EF (Tableau 2). Ainsi, il y avait en moyenne 9 kg de $N_{efficace}$/ha sous forme de nitrate de plus suivant l'apport de FPA.

Tableau 2. Contenu du sol en N-NO_3 (kg ha^{-1} b.s) au printemps 2016 (20 avril), en fonction des engrais verts et de l'engrais de ferme (fumier de poulet à griller) incorporés à l'automne 2015.

	Témoin	Trèfle inter	Pois Post
Sous-parcelle avant apport d'engrais de ferme de printemps	6,96	8,22	6,77
Sous-parcelle avec fumier de poulet à griller apporté à l'automne 2015	14,05	14,42	19,22

Aucune analyse statistique

Le suivi plus tard en saison aux stades post-émergence (avant l'apport du lisier (30 juin)) et apparition des soies (3 août) (Figure 7), tant sur le nitrate, que sur les contenus en P et K disponibles (formes solubles à l'eau), démontrent que ce sont surtout les EF qui ont modifié la disponibilité de ces éléments et cela, sans interaction avec les EV (Tableau 3 et 4). En ce qui a trait aux EV, il y avait une faible tendance à plus de nitrate dans les sols avec EV (2 à 5 kg N-NO_3/ha de plus; P = 0,2065), comparativement au sol témoin. Toutefois, au stade soie, plus aucun effet n'était mesurable. Au 30 juin, les EV ont également montré un effet significatif sur les charges de P_{eau} alors que les parcelles de pois présentaient des charges 10 % plus importantes en PO_4 disponible que celles des parcelles de trèfle et témoins (tous EF confondus) (Tableau 3). Ceci pourrait être dû au fait que le pois apportait plus de P que le trèfle via sa biomasse (Tableau 1). Toutefois, cela est peu probable car les quantités restaient très faibles comparativement aux EF. De plus, au stade soie, c'est à la fois dans les parcelles de pois et de trèfle que le P_{eau} semblait le plus élevé comparativement aux parcelles témoin, avec un écart de 25 %. Cependant, malgré cet écart important, la différence sort non statistiquement significative à P = 0.26 (Tableau 4). Dans la littérature, un effet des EV sur la hausse de la disponibilité du P des fractions les plus labiles (phosphates (PO_4) en solution du sol) a toutefois déjà été rapporté. Celui-ci serait dû à la présence accrue d'anions organiques dans le sol qui font compétition pour les mêmes sites d'adsorption que ceux fixant le PO_4 disponible en solution du sol. Le PO_4 peut donc y demeurer plus longtemps ou en plus grande concentration (Nziguheba et al 2016). Dans notre étude, il ressort aussi que les EV peuvent hausser le P_{eau} du sol aux mêmes concentrations que les EF pour des apports de P_{total} 30-50 fois inférieurs et l'atteinte de teneurs foliaires en P adéquates (données non montrées). Ainsi, pour un sol à 6 % ISP comme dans cette étude (Annexe B), il n'était pas nécessaire d'apporter des quantités de P de l'ampleur de celles apportées par les EF.

Au niveau du K, aucun effet des EV n'a été mesuré. Cependant, au 30 juin (LP non appliqué), les EF ont haussé les contenus en tous les éléments par rapport au témoin sans EF. La hausse de N-NO_3 est moins forte dans les parcelles de FPA (1,5 x) que dans celles de FPP et GFV (2,8 x) (Tableau 3). Cette observation concorde avec ce que suggèrent les flux mesurés par les MEI (voir section 3.3.2). L'effet sur le P_{eau} est moins prononcé avec une hausse équivalente de 1,2x dans les parcelles FPA et FPP, comparativement au témoin qui est similaire aux parcelles de GFV. Les hausses de K_{eau} sont de même ampleur que celle du P_{eau}, mais c'est le FPP qui fait augmenter le plus le K_{eau} (1,4 x) comparativement au témoin, alors que le FPA et les GFV augmentent le K_{eau} de 1,2 x. Plus tard en saison, le 3 août, les charges en N-NO_3 sont encore plus élevées dans les parcelles d'EF que dans le témoin. Le lisier épandu plus récemment présente la plus forte hausse (2,4 x), suivi du FPP et des GFV (2,0 x), puis du FPA

présentant la moins grande différence (1,4 x), comparativement au témoin. Il est intéressant également de constater que le FPA rend disponible 5,3 kg N-NO_3 ha^{-1} de plus que le sol sans EF (Tableau 4). Le lisier incorporé en post-émergence permet pour sa part la fourniture de 17 kg N-NO_3 ha^{-1} de plus à un moment charnière dans la nutrition du maïs. À la même date, les mesures des flux de N-NO_3 corroborent ces résultats (voir section 3.3.2). Au niveau du P_{eau}, tous les EF ont un effet similaire, avec un contenu 22 % plus élevé dans ces parcelles que celle du sol sans EF. En ce qui a trait au K_{eau}, la hausse est beaucoup moins marquée quel que soit l'EF (entre 5-15%), avec en ordre croissant d'effet les GFV > FPP = FPA > LP. Au global, le FPP apparaît comme l'un des EF qui avait les charges en N disponible les plus élevées pendant la saison. Toutefois, lorsque ces analyses sont combinées avec celles des courbes des MEI, les valeurs peuvent être mises en perspective puisque le FPP ne génère jamais les pics de flux de N-NO_3 les plus élevés, contrairement aux FPA, GFV et LP (voir section 3.3.2).

Figure 7. Croissance du maïs au stade post-émergence (30 juin 2016 - à gauche) et soie (3 août 2016 - à droite).

Tableau 3. Contenus du sol en NPK disponibles au stade post-émergence du maïs-grain (avant lisier) en fonction des engrais verts et des engrais de ferme.

	Charge N-NO_3 Kg ha^{-1} b.s				Charge P soluble Kg ha^{-1} b.s				Charge K soluble Kg ha^{-1} b.s.			
	Sans EV	**Trèfle**	**Pois**	**$\bar{x}$ EF**	**Sans EV**	**Trèfle**	**Pois**	**$\bar{x}$ EF**	**Sans EV**	**Trèfle**	**Pois**	**$\bar{x}$ EF**
Témoin	12,5	16,0	18,6	**15,7 a**	13,8	17,3	18,1	**16,4 a**	117,7	123,3	133,4	**124,8 a**
FPA	25,3	25,7	19,9	**23,6 b**	20,8	18,1	20,5	**19,8 b**	144,2	154,1	143,5	**147,3 b**
FPP	35,1	48,0	42,1	**41,7 c**	19,5	19,4	20,3	**19,7 b**	159,8	183,7	165,7	**169,7 c**
GFV	40,7	49,6	43,3	**44,5 c**	18,1	16,8	20,1	**18,3 ab**	140,5	155,1	157,2	**150,9 b**
LP	17,8	15,6	16,1	**16,5 a**	15,9	16,5	17,3	**16,6 a**	119,6	128,8	129,8	**126,1 a**
$\bar{x}$ EV	**26,2**	**31,0**	**28,0**		**17,6 a**	**17,6 a**	**19,3 b**		**136,4**	**149,0**	**145,9**	
	Valeurs de P											
EV	*0,2065*				*0,0765*				*n.s*			
EF	*< 0,0001*				*0,0493*				*0,0004*			
EV X EF	*n.s*				*n.s*				*n.s*			

Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.

Données du 30 juin 2016; Engrais verts (EV) incorporés à l'automne 2015 et engrais de ferme appliqué à l'automne 2015 (FPA) ou au printemps 2016.

Tableau 4. Contenus du sol en NPK disponibles au stade soie du maïs-grain en fonction des engrais verts et des engrais de ferme.

	Charge N-NO_3 Kg ha^{-1} b.s				Charge P soluble Kg ha^{-1} b.s				Charge K soluble Kg ha^{-1} b.s.			
	Sans EV	Trèfle	Pois	$\bar{x}$ EF	Sans EV	Trèfle	Pois	$\bar{x}$ EF	Sans EV	Trèfle	Pois	$\bar{x}$ EF
Témoin	11,3	12,4	13,0	**12,2 a**	24,7	33,5	23,8	**27,3 a**	152,1	155,0	153,6	**153,5 a**
FPA	17,8	22,8	12,0	**17,6 ab**	29,4	35,2	33,6	**32,7 b**	180,2	178,3	159,6	**172,7 bc**
FPP	22,5	21,8	29,5	**24,6 bc**	26,0	35,7	35,2	**32,3 b**	170,3	171,4	165,5	**169,0 bc**
GFV	25,9	22,2	22,4	**23,5 bc**	28,2	30,3	35,2	**31,2 ab**	147,2	169,5	162,6	**159,8 ab**
LP	25,8	26,3	35,8	**29,3 c**	29,2	41,9	38,6	**36,6 b**	179,0	181,2	171,7	**177,3 c**
$\bar{x}$ EV	**20,7**	**21,1**	**22,5**		**27,5**	**35,3**	**33,3**		**165,7**	**171,1**	**162,6**	
	Valeurs de P											
EV	*n.s.*				*n.s*				*n.s.*			
EF	*0,0131*				*0,0271*				*0,0462*			
EV X EF	*n.s.*				*n.s*				*n.s.*			

Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.
Données du 3 août 2016; Engrais verts (EV) incorporés à l'automne 2015 et engrais de ferme appliqué à l'automne 2015 (FPA) ou au printemps 2016.

3.3.2 Dynamique du nitrate du sol et rendements en grains

Le suivi *in situ* de l'intensité du N disponible du sol (N-NO_3) à l'aide de membranes d'échange ionique (MEI) a permis également d'expliquer à quels moments pendant la saison les plants ont eu accès à davantage de nitrate. La Figure 8 montre que les apports d'EV tendent (*P* = 0,2019) à hausser le contenu en N disponible du sol par rapport au témoin sans EV. La tendance s'observe à plusieurs moments dans la saison, mais est surtout présente avant le stade post-émergence (30 juin 2016). Même si cet effet n'est pas ressorti significatif au seuil P < 0,10 (Figure 8 : *P* = 0,2019), cela peut certainement expliquer, en partie, que les rendements en maïs aient eu tendance à être 17 % supérieurs (Figure 9; *P* =0,1272) en présence du pois fourrager, comparativement au témoin. Le pois était d'ailleurs l'EV testé apportant le plus de N (Tableau 1). Le pois fourrager est également le seul traitement d'EV qui a significativement hausser le poids des grains (68 kg hl^{-1} vs. ~66 kg ha^{-1}; *P* = 0,0928).

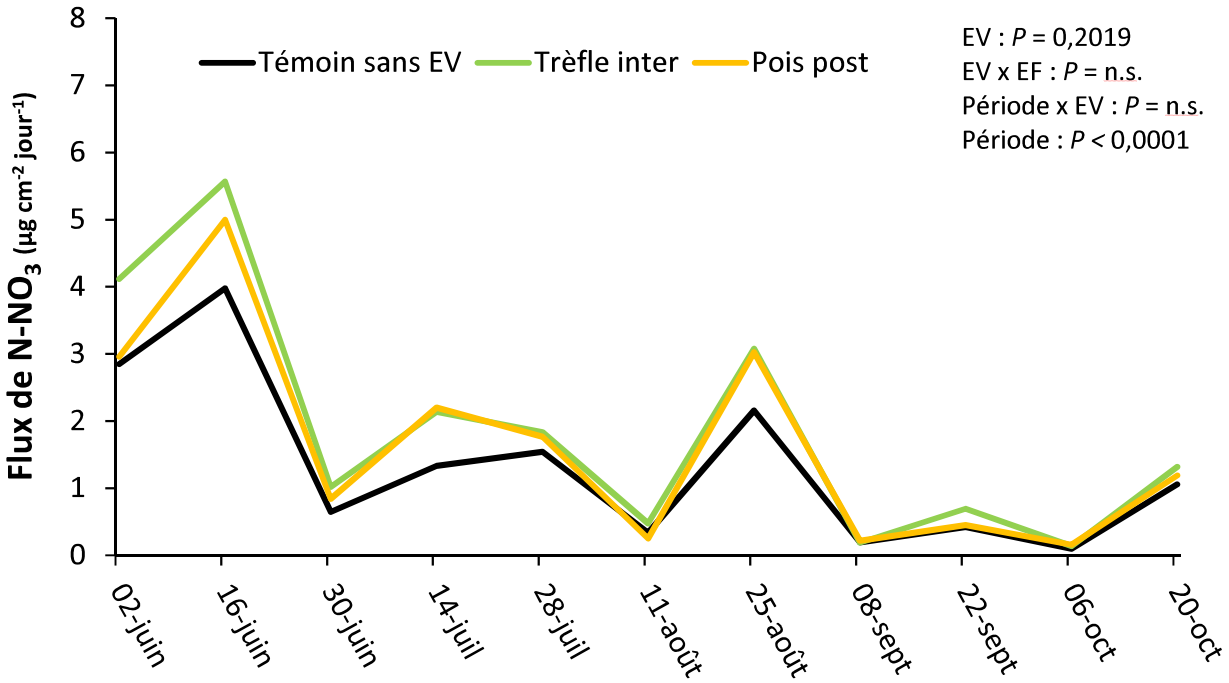

Figure 8. **Flux de N-NO_3 des membranes d'échange ionique sur la saison 2016 selon les engrais verts d'automne 2015, tous engrais de ferme confondus.**

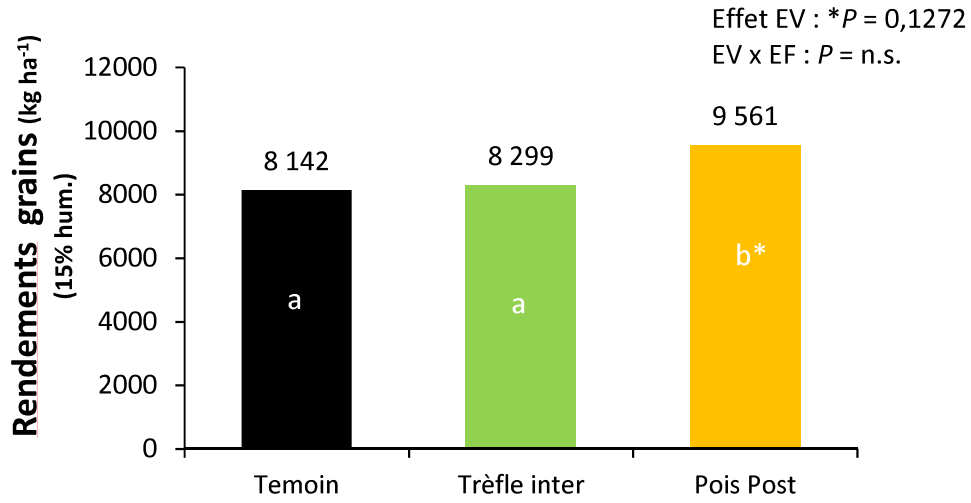

Figure 9. **Rendement en grains de maïs en fonction des engrais verts (1er novembre 2016) tous engrais de ferme confondus.** *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

Les EF ont quant à eux haussé davantage les flux de nitrate en saison que les EV. La nature et le moment d'apports d'EF ont grandement influencé les pics de disponibilité du N-NO_3 du sol. Les GFV, le FPA et le LP sont les EF ayant produit les pics avec le plus d'intensité à une date donnée. Les GFV et le FPA avaient des flux supérieurs dans les

périodes de début de saison se produisant avant la mi-juillet (Figure 10), soit avant la période critique des besoins en N par le maïs-grain. À l'inverse, le LP appliqué en post-émergence (30 juin) a généré le plus haut pic de N-NO_3 dans la fenêtre de besoin critique en N du maïs, soit entre le 28 juillet et le 25 août, alors que le maïs prélèvera 60 % de ses besoins en N (Figure 10). À l'image du LP, comme les GFV ont eu un effet rapide et le plus élevé sur les flux de N-NO_3 dans les périodes suivant leur application, il serait plus avantageux de les apporter plus tard en saison. Ceux-ci pourraient être appliqués en bande au même stade que le LP pour que le relâchement de N-NO_3 arrive pendant la période de forte demande. Enfin le FPP est l'EF qui tout au long de la saison a montré la plus faible intensité en flux de N-NO_3, l'application à l'automne de cet EF apparaît donc plus judicieuse pour permettre à la minéralisation de se réaliser. Le fumier de type « poulet à griller » n'a en effet que 43 % de son carbone (C) dans la fraction la plus soluble, avec un C/N de 15. À l'opposé, les GFV qui ont minéralisé très rapidement contiennent 72 % de leur C dans la fraction la plus soluble, avec un C/N de 8.

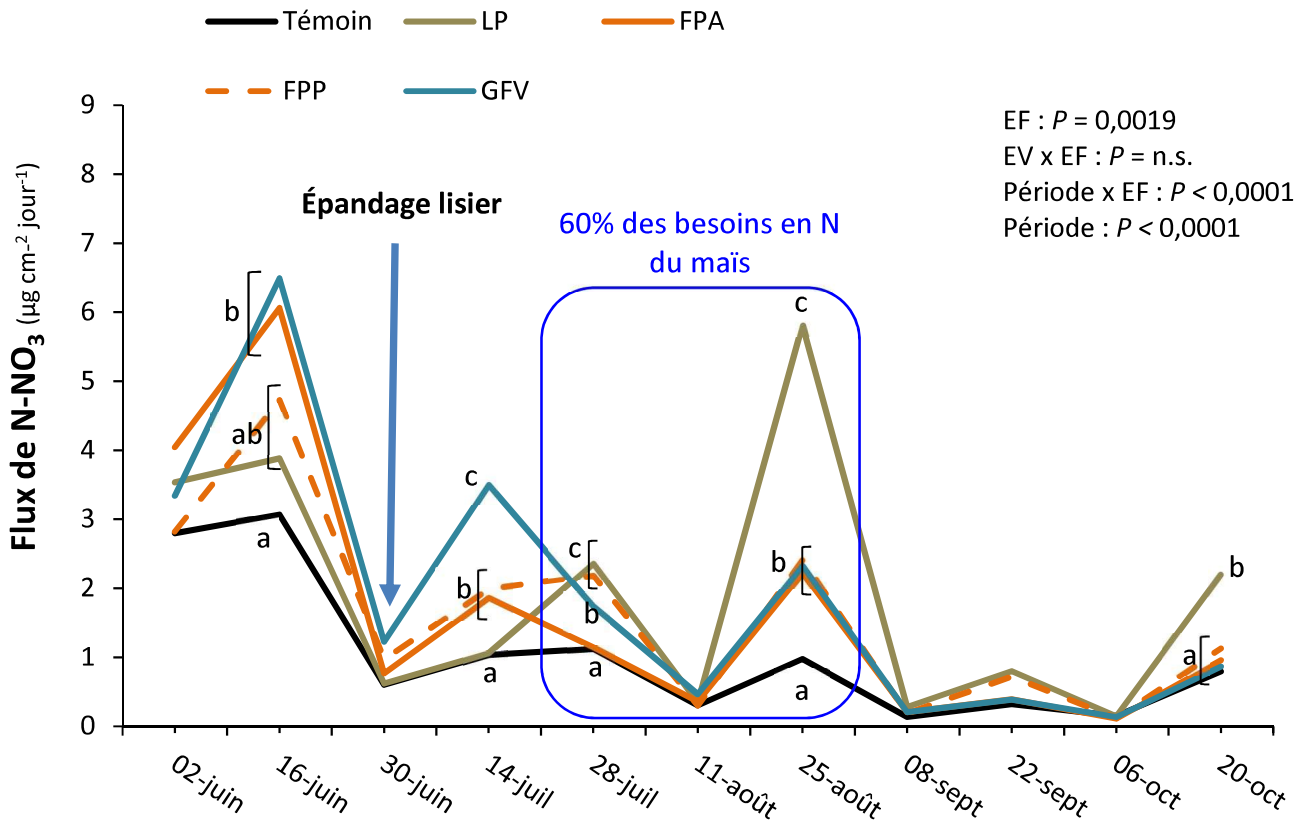

Figure 10. Flux de N-NO_3 des membranes d'échange ionique sur la saison 2016 selon la fertilisation des engrais de ferme, tous engrais verts confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

Tout comme pour la disponibilité du N en saison en fonction des régies, les prélèvements totaux en N par le maïs-grain ont varié selon la régie testée. C'est le LP qui a permis les meilleurs prélèvements de l'essai, avec 162 kg N ha^{-1} (Figure 11). Toutefois, ces derniers étaient non statistiquement différents de ceux obtenus avec le FPA, qui a

permis des prélèvements totaux de 149 kg N ha^{-1}. Les GFV, suivi par le FPP ont pour leur part soutenu des prélèvements en N moins importants, avec 135 et 129 kg N ha^{-1}, respectivement, mais néanmoins significativement plus élevés que ceux obtenus avec le témoin sans EF (86 kg N ha^{-1}). Puisqu' avec tous les traitements d'EF, les prélèvements totaux en N sont plus élevés que ceux obtenus avec le témoin, cela signifie que le site répondait aux apports d'azote et que les effets observés avec les différentes régies sont bien dus aux apports de N. Ainsi les régies qui ont le plus favorisé les prélèvements en N ont également permis l'atteinte des rendements supérieurs de l'essai (Figure 12). Le LP et le FPA (tous EV confondus) ont ainsi donné les rendements les plus élevés avec plus de 9,5 T ha^{-1} de grains. Cela démontre donc l'importance de bien synchroniser les apports d'EF avec les besoins de la culture tout en prenant en compte leur nature. En effet, le FPP, soit le même intrant que le FPA mais apporté au printemps, a donné les rendements les plus bas après la régie témoin, malgré des apports en N_{eff} équivalents au FPA et à tous les autres EF.

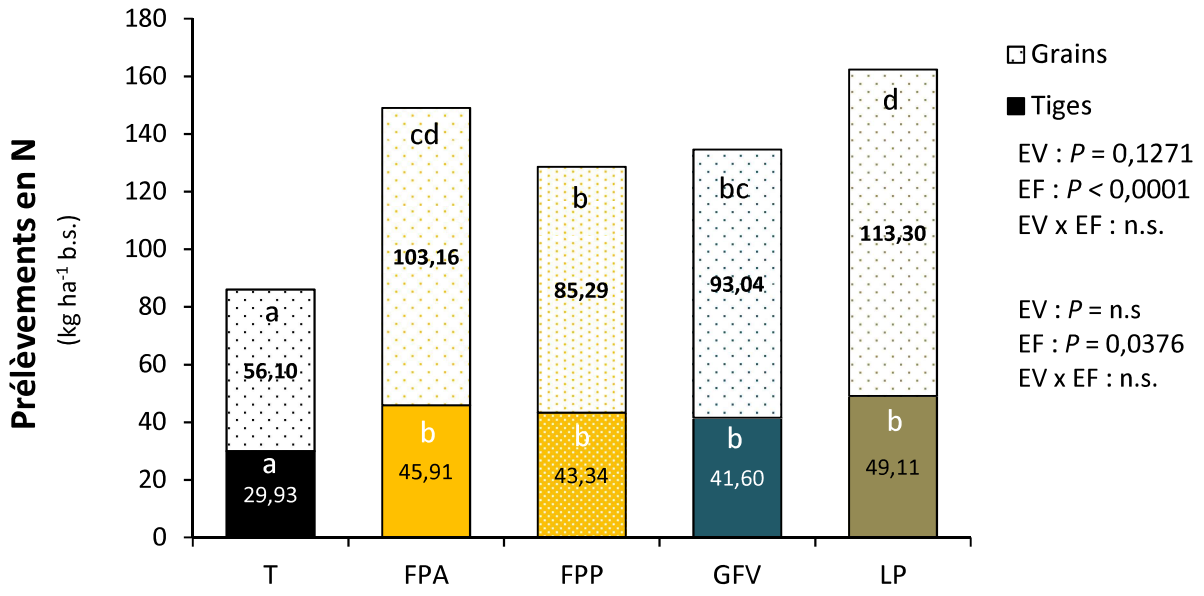

Figure 11. Prélèvements totaux en azote (N) par les tiges de maïs-grain (pointillé) et les grains (coloré) en fonction des engrais de ferme au 1er novembre 2016, tous engrais verts confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

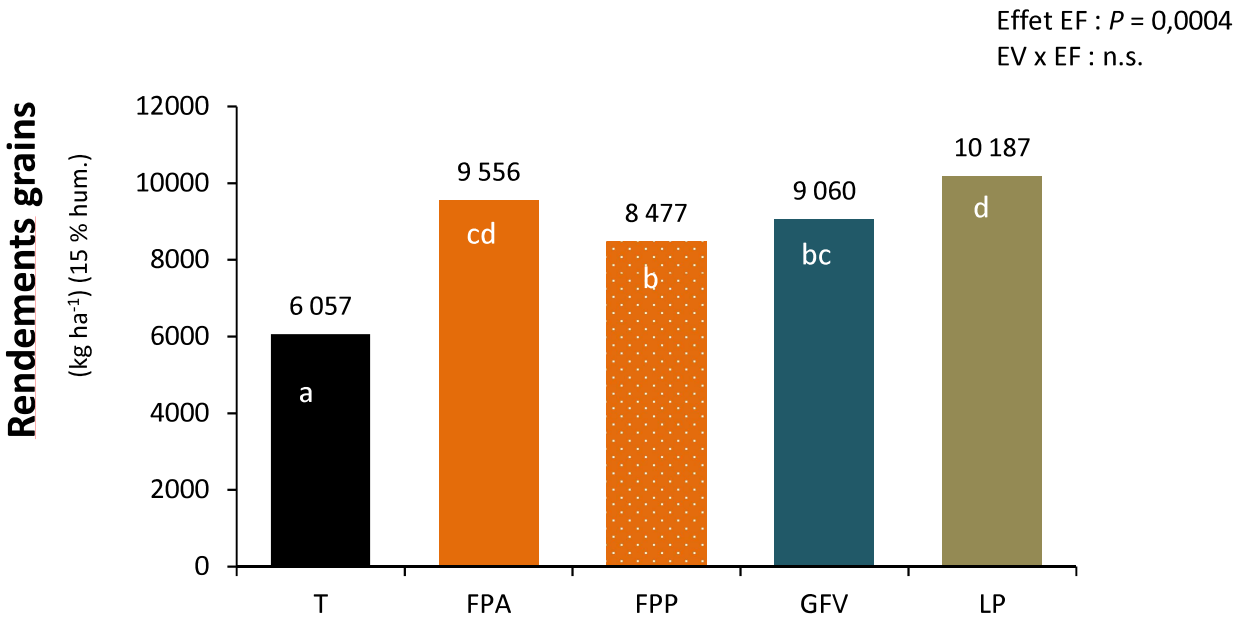

Figure 12. Rendement en grains de maïs en fonction des engrais de ferme, le 1ier novembre 2016, tous engrais verts confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

Sur une base annuelle, la comparaison des rendements en maïs-grain obtenus avec les différentes régies d'EV X EF (4,9 à 10,5 T/ha) montrent qu'ils ont été très intéressants pour la production biologique. Les rendements moyens pour le maïs-grain en Montérégie en 2016 ont été évalués à 11 T ha^{-1}, tous types de cultures confondus (bio et conventionnel) (ISQ, 2018). Toutefois, en régie biologique, des rendements équivalents ou supérieurs à 7 T ha^{-1} sont considérés bons (CRAAQ 2018). Ainsi, seules les régies « témoin sans EV ni EF » et « trèfle seul sans EF » ont donné des rendements inférieurs à 7 T ha^{-1} (Figure 13). Les EV (P = 0,1272) et les EF (P = 0,0004) ont tous les deux modifié les rendements. Dans le traitement témoin sans EF, l'implantation des EV de trèfle ou pois seuls a tout de même permis d'accroître les rendements de 17 % et 54 %, respectivement. Ceci n'est pas négligeable et est très intéressant considérant que leurs apports en N étaient seulement estimés à 14 et 21 kg N_{eff} ha^{-1}, respectivement. En fait, le pois apporté seul a même donné un rendement égal au FPP apporté seul à une dose de 100 kg N_{eff}, soit 7,6 T ha^{-1}. Le pois apportait pourtant uniquement 23 kg N_{total}/ha, comparativement à 201 kg N_{total}/ha pour le FPP, soit 9 fois moins, et cela a un site qui répond fortement à la fertilisation N. Des apports beaucoup plus élevés de P (40 fois) et K (12 fois) ont donc eu lieu avec le FPP, comparativement au pois, sans aucun gains de rendement. Aussi, comme il n'y a pas eu d'interaction significative entre les EV et les EF sur les rendements (Figure 13 : P = 0,2244), cela signifie que c'est toujours le pois qui a permis de hausser davantage les rendements en combinaison avec les EF. Avec l'apport de EF seul (sans engrais vert), les rendements les plus intéressants de l'essai ont été obtenus avec une régie de LP ou FPA, tel que déjà observé avec l'analyse des rendements avec tous les EV confondus (Figure 12). Un essai voisin à celui-ci, avec aussi du maïs-grains, avait d'ailleurs montré les mêmes conclusions, le LP appliqué en post-émergence ayant donné les meilleurs rendements

en comparaison des autres EF appliqués en pré-semis grâce à une meilleure synchronisation entre les besoins et les apports (Côté et coll. 2018).

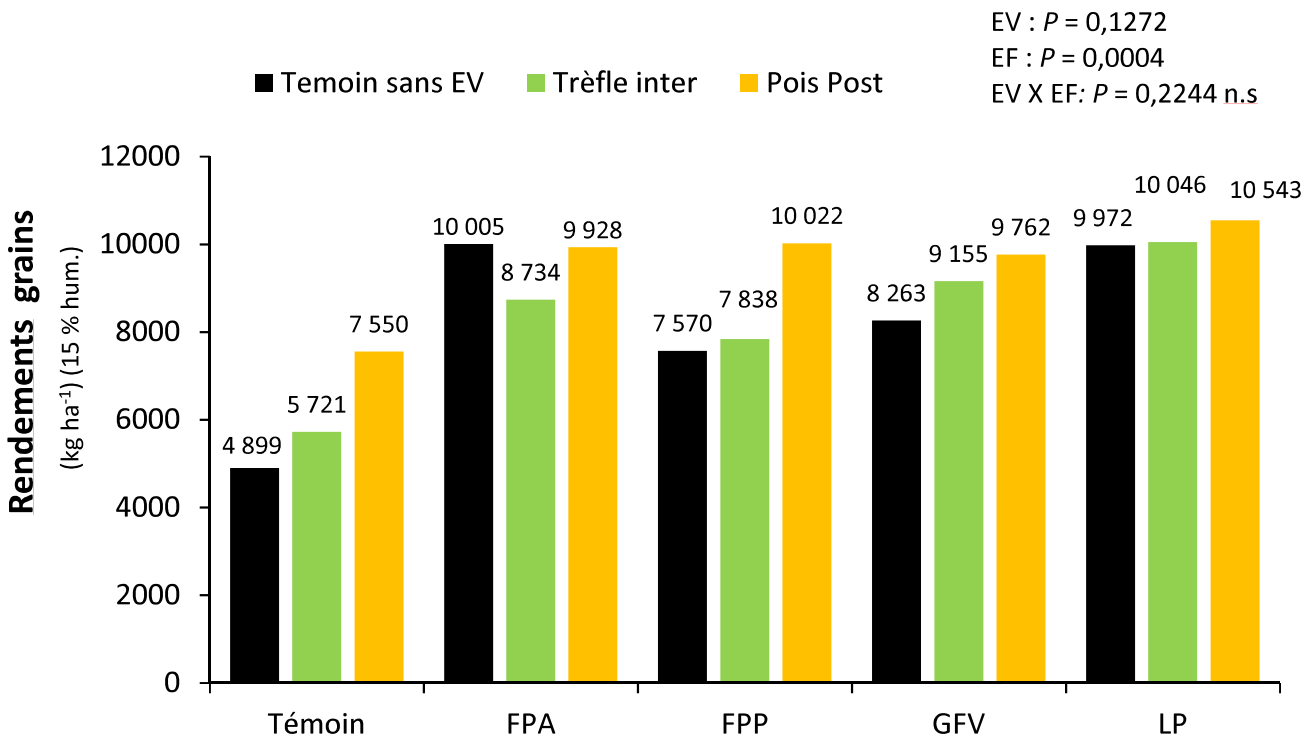

Figure 13. Rendement en grains du maïs en fonction des engrais verts et des engrais de ferme au 1er novembre 2016.

3.4 SOYA (2017)

En 2017, aucun apport d'engrais additionnel à ceux de 2015 et 2016 n'a été réalisé, de sorte qu'il est possible d'évaluer les arrières-effets des différentes régies sur la croissance et les rendements du soya. Globalement les rendements ont été excellents, en moyenne de 2,8 T ha^{-1}, soit tout près de ceux obtenus ailleurs en Montérégie en 2017 (bio et conventionnel confondus), qui étaient de 3,1 T ha^{-1} selon l'ISQ (2018). Par ailleurs, un arrière-effet des EV 2015 a été mesuré (P = 0,1059), avec 10 % plus de rendement dans les sols ayant reçu du pois, comparativement à ceux ayant reçu du trèfle (P = 0,0453). Il y avait aussi une faible tendance (P = 0,1837) pour 5 % plus de rendement avec le pois que dans les sols sans EV (Figure 14). Les EF quant à eux n'ont eu aucun arrière-effet sur les rendements en soya (Figure 15). Ainsi, deux ans après avoir été incorporé, seul le pois pourrait encore avoir un léger effet positif sur la productivité du soya. Une hypothèse pour expliquer cet avantage pourrait venir du fait que le pois, tout comme le soya, est une culture vivant en symbiose avec les bactéries *Rhizobium* et donc que la présence du pois dans la rotation a pu favoriser une inoculation plus importante du soya par ces bactéries, favorisant ainsi la fixation de N par les racines du soya et occasionner les bénéfices mesurés.

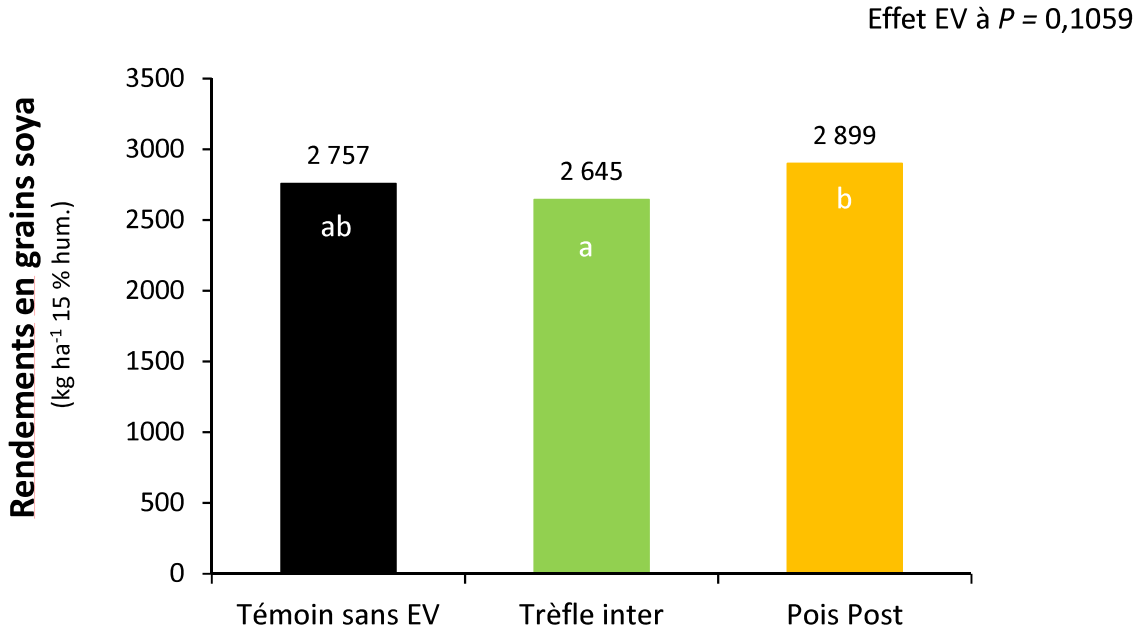

Figure 14. Rendement en grains de soya en fonction des engrais verts, le 28 septembre 2017, tous engrais de ferme confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

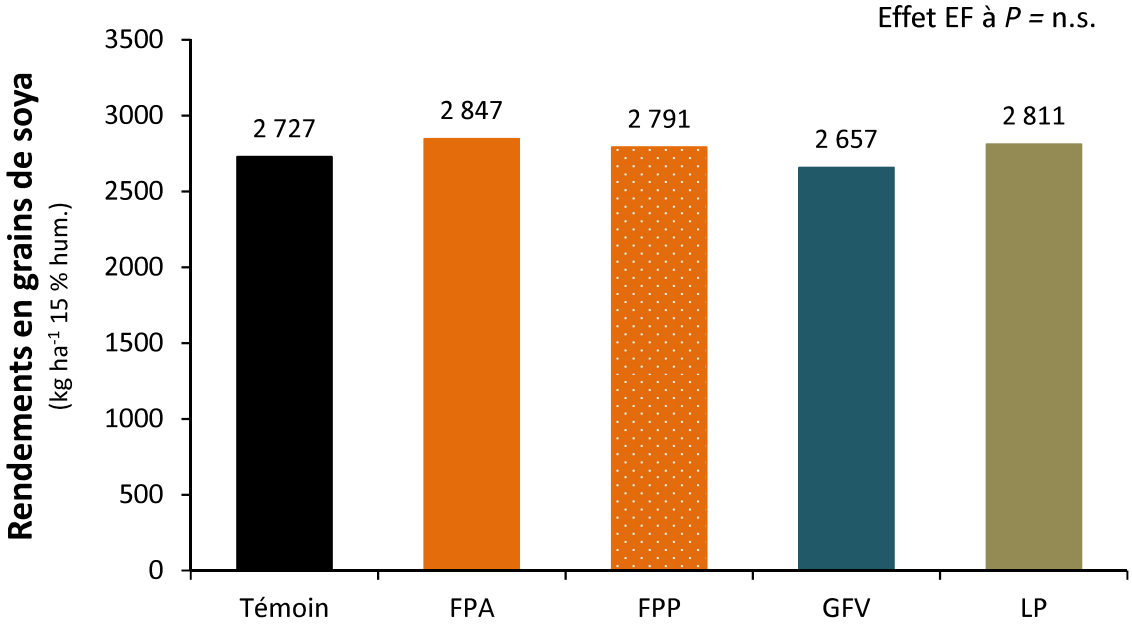

Figure 15. Rendement en grains de soya en fonction des engrais de ferme, le 28 septembre 2017, tous engrais verts confondus.

3.5 IMPACTS DE LA ROTATION

3.5.1 Activité biologique du sol

Cette étude visait également à mesurer les effets de la rotation et des différentes régies de fertilisation sur l'activité biologique du sol au stade cible de la croissance du maïs et du soya. Le Tableau 5 présente un résumé de ces effets pour différents indicateurs de l'activité microbienne du sol. De façon générale, il n'y a pas eu d'interaction significative entre les EV X EF, de sorte qu'il est possible d'évaluer l'effet de chacun de manière indépendante (Tableau 5). Suivant leur incorporation, les EV ont influencé plusieurs des paramètres mesurés lors de la 1ère année (2016), mais n'avaient plus d'effet significatif après deux ans. Ainsi, à l'été 2016, les EV ont modifié les contenus du sol en C provenant de la biomasse microbienne (P = 0,0086). Tous EF confondus, le pois et le trèfle ont haussé de 10 et 3 % le contenu en C microbien du sol, respectivement, en comparaison du témoin sans EV. Ceci indique que la concentration en microorganismes était plus élevée dans ces sols et donne une indication que ceux-ci avaient un potentiel d'activité biologique plus grand que le sol témoin, même si celui-ci n'a pas pu être mesuré par dégagement de CO_2 (respiration microbienne) lors des incubations de sol en laboratoire. De plus, lors de ces mêmes incubations, l'activité uréase tendait fortement (P = 0,1418) à être plus élevée, surtout dans les parcelles de pois (18 % de hausse), indiquant une plus grande activité de libération de NO_3 par minéralisation du No. En fait, tous EF confondus, les sols des parcelles de pois et de trèfle ont libéré en moyenne deux fois plus de nitrate que le sol témoin sans EV (Effet EV : P = 0,0044). Toutefois, si on tient compte de la forte tendance à l'interaction EV X EF (P = 0,1200), les sols avec EV ont tous fourni plus de N-NO_3 que les sols témoin sans EV, parfois jusqu'à 7 fois plus, sauf dans les sols ayant aussi reçu du LP (Figure 16).

En ce qui a trait aux EF, leurs effets sur les paramètres biologiques sont également concentrés lors de la saison 2016 (Tableau 5). Lors de cette saison au cours de laquelle tous les EF ont été apportés, sauf le FPA, les EF ont modifié l'activité de plusieurs enzymes associées à la minéralisation de la matière organique, soit l'uréase et les phosphatases alcaline et acide. Les traitements avec fumier de poulet (FPA et FPP) ont davantage haussé l'activité de phosphatase acide (~219,9 µg PNP g^{-1}) que les GFV et le LP qui ont conservé des valeurs similaires au témoin (~194,7 µg PNP g^{-1}). Pour la phosphatase alcaline, c'est plutôt le FPP et le LP qui ont montré les activités les plus élevées (~342,5 µg PNP g^{-1}), en comparaison des autres traitements d'EF soit, FPA, GV et témoin (~311 µg PNP g^{-1}). L'uréase quant à elle a été haussée de 18 % en moyenne avec tous les EF (~77,8 µg N-NH4 g^{-1}) en comparaison du témoin sans EF (65,5 µg N-NH4 g^{-1}). En ce qui a trait à la fourniture en N-NO_3 par minéralisation, les sols avec EF-sans EV n'ont pas fait mieux globalement que les sols avec EV-sans EF. En fait, les sols avec le FPP et les GV seuls ont produit moins de N-NO_3 que les EV de trèfle ou pois seuls. Par contre, la combinaisons EV-FPP a de loin produit le plus de N-NO_3. Lors de la saison 2017 toutefois, seul un effet sur la respiration microbienne du sol a été mesuré. La différence majeure concerne principalement les GFV dont les sols avaient un taux respiratoire (0,2140 mg CO_2 g^{-1}) en moyenne 20 % inférieur à celui des sols des autres EF et du sol témoin. De plus, le LP (0,2823 mg CO_2 g^{-1}) était le seul EF présentant une respiration microbienne significativement plus élevée (17 %) que celle du sol témoin (0,2410 mg CO_2 g^{-1}).

Tableau 5. Impact des engrais verts et des engrais de ferme de la rotation sur certains indicateurs d'activité biologique du sol en 2016 (3 août) et 2017 (18 juillet).

Paramètre (base sèche)	Engrais vert (EV)		Engrais de ferme (EF)		EV X EF	
Années	2016	2017	2016	2017	2016	2017
	Valeurs de *P*					
C Biomasse (mg kg^{-1})	0,0086	.	n.s.	.	n.s.	.
N Biomasse (mg kg^{-1})	n.s.	.	n.s.	.	n.s.	.
C org. soluble	n.s.	n.s.	n.s.	n.s	n.s.	n.s.
Respiration CO2 (mg CO2 g^{-1})	n.s.	n.s.	n.s.	0,0237	n.s.	n.s.
Phosph. acide (µg PNP g^{-1})	n.s.	.	0,0390	.	n.s.	.
Phosph. alcaline (µg PNP g^{-1})	n.s.	.	0,0011	.	n.s.	.
Uréase (µg N-NH_4 g^{-1})	0,1418	.	0,0169	.	n.s.	.
Libération N-NO_3 (kg ha^{-1}) (10 jours)	0,0046	n.s.	n.s.	n.s.	0,1212	n.s.

Les cases avec un « . » signifient que cet indicateur n'a pas été analysé au laboratoire cette année-là.

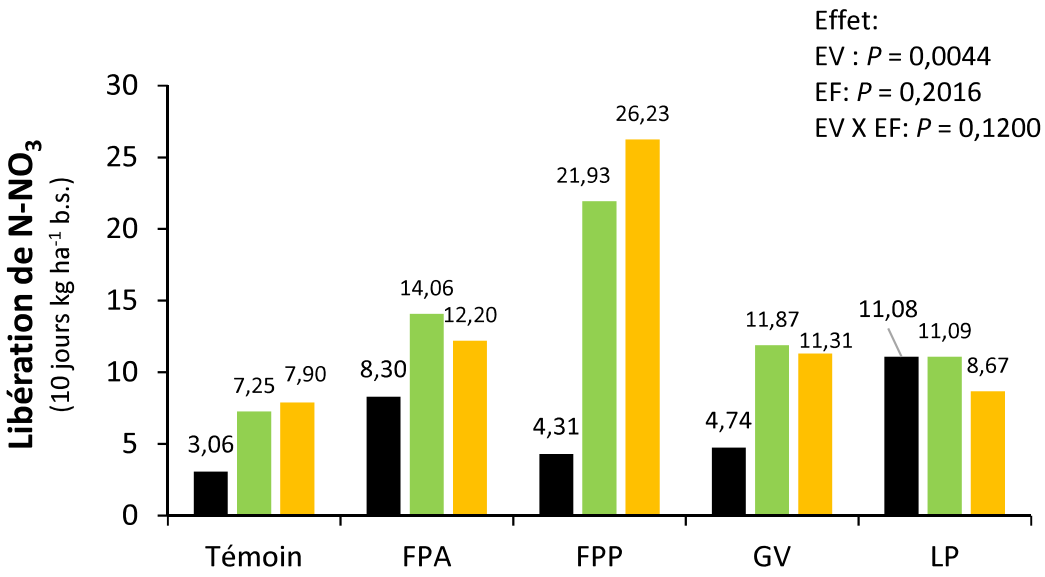

Figure 16. Capacité de fourniture en nitrate du sol par minéralisation selon les engrais verts et les engrais de ferme (3 août 2016).

3.5.2 Azote résiduel

Les engrais verts ont eu très peu d'impacts environnementaux négatifs puisqu'ils n'ont pas entraîné la hausse des concentrations en N résiduel suivant la récolte du maïs-grain et du soya sur les trois profondeurs de sol étudiées (0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm). Seule une légère hausse de 1 à près de 2 kg $N\text{-}NO_3$ ha^{-1} (Figure 17 : $P = 0{,}0130$) de la strate de surface en post-récolte du maïs-grain (2016) a été mesurée dans les sols des parcelles avec EV, comparativement au sol témoin sans EV. Par la suite, aucune différence n'est détectable en post-récolte du soya (2017) sur les trois profondeurs (Figure 17).

Les engrais de ferme ont eu un effet plus constant et présent. Toutefois, il demeure que les teneurs de nitrate résiduel mesurées sont en tout temps globalement faibles (< 9 kg $N\text{-}NO_3$/ha), que ce soit en post-récolte du maïs ou du soya sur les trois strates étudiées (0-20, 20-40 et 40-60 cm). Cela dit, les EF ont haussé les teneurs en $N\text{-}NO_3$ résiduel dans le sol les deux années et à toutes les profondeurs échantillonnées. La hausse est modérée mais elle est présente jusqu'à 2 ans après l'apport des EF (Figure 18), ce qui indique que ceux-ci doivent être utilisés de façon raisonnée pour en limiter l'impact environnemental puisque le nitrate qui a migré sous la zone utile de sol migre hors de l'agrosystème. Par ailleurs, dans l'ensemble, aucun EF n'a d'impact négatif vraiment plus marqué que les autres. En post-récolte du maïs, les sols ayant reçu des EF avaient tous un contenu 58 % plus haut en $N\text{-}NO_3$ que celui du sol témoin sans EF dans la couche de surface, mais 2 fois supérieur dans les strates plus profondes.

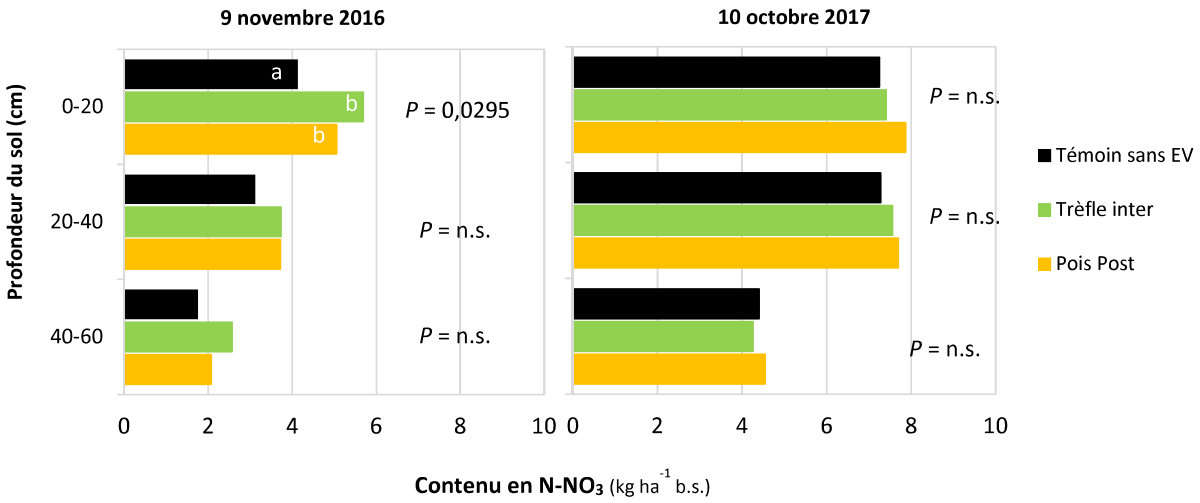

Figure 17. Contenu en nitrate résiduel du sol selon les apports d'engrais verts, pour 3 profondeurs d'échantillonnage, le 9 novembre 2016 et le 10 octobre 2017, tous engrais de ferme confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

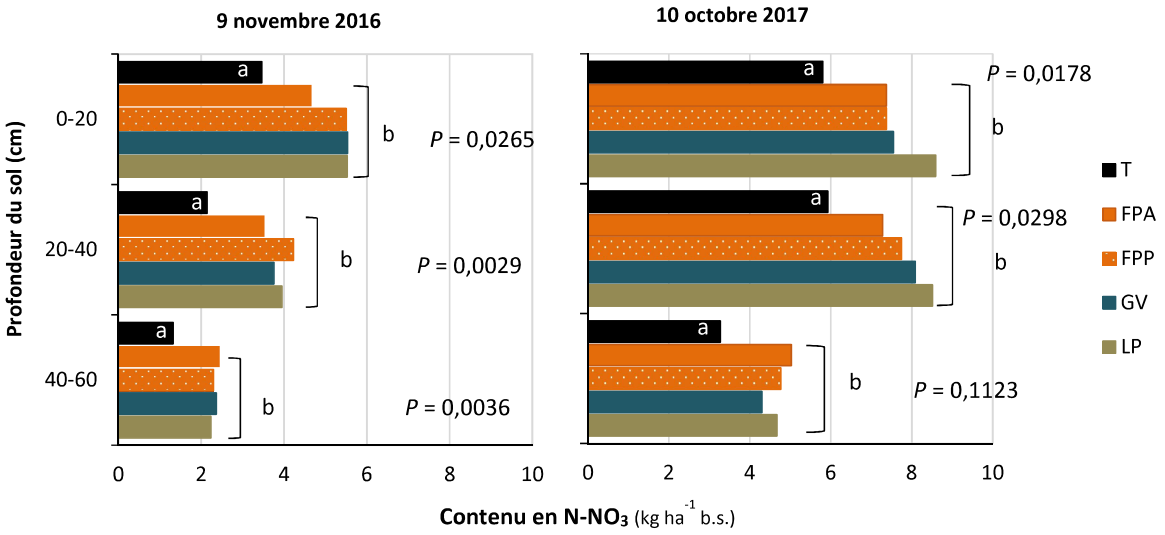

Figure 18. Contenu en nitrate résiduel du sol selon les apports d'engrais de ferme, pour 3 profondeurs d'échantillonnage, le 9 novembre 2016 et le 10 octobre 2017, tous engrais verts confondus. *Les valeurs avec des lettres distinctes sont significativement différentes au seuil P < 0,1.*

3.6 ANALYSE ÉCONOMIQUE

Le calcul de la moyenne du revenu, des coûts variables et de la MCV (marge sur coûts variables) des 45 parcelles de l'expérimentation pour la rotation a permis de constater que le pois fourrager est l'EV qui donne la meilleure rentabilité économique (Tableau 6), soit une MCV de 6 209$ ha^{-1}, qui est plus élevée de 333$ ha^{-1} comparativement à celle obtenue avec le trèfle en intercalaire.

Tableau 6. Marge sur coûts variables (MCV) de la rotation selon l'engrais vert

Engrais verts	Engrais de ferme	Revenu moyen ($/ha)	Coûts variables moyen $/ha	MCV moyenne $/ha
Pois fourrager	FPA	9 942,34 $	3 233,41 $	6 708,92 $
	FPP	9 929,24 $	3 285,33 $	6 643,91 $
	GFV	9 662,71 $	4 768,02 $	4 894,68 $
	LP	10 202,88 $	3 260,82 $	6 942,06 $
	Témoin sans EF	8 663,25 $	2 809,00 $	5 854,25 $
	Moyenne Pois fourrager	**9 680,08 $**	**3 471,32 $**	**6 208,76 $**
Trèfle intercalaire	FPA	9 525,97 $	3 119,64 $	6 406,33 $
	FPP	9 032,72 $	3 132,47 $	5 900,26 $
	GFV	9 531,04 $	4 677,42 $	4 853,61 $
	LP	10 124,56 $	3 174,56 $	6 950,00 $
	Témoin sans EF	7 938,91 $	2 670,15 $	5 268,75 $
	Moyenne Trèfle intercalaire	**9 230,64 $**	**3 354,85 $**	**5 875,79 $**
Témoin sans EV	FPA	10 015,91 $	3 009,83 $	7 006,08 $
	FPP	8 776,24 $	2 936,85 $	5 839,39 $
	GFV	8 971,92 $	4 457,17 $	4 514,74 $
	LP	9 962,17 $	2 986,61 $	6 975,56 $
	Témoin sans EF	7 413,74 $	2 452,67 $	4 961,07 $
	Moyenne Témoin	**9 027,99 $**	**3 168,63 $**	**5 859,37 $**
	Moyenne générale	**9 312,91 $**	**3 331,60 $**	**5 981,31 $**

En ce qui concerne les EF, c'est le LP qui a donné la meilleure rentabilité économique, avec une MCV moyenne (indépendamment de l'EV) de 6956$ ha^{-1} (Tableau 7), suivi des fumiers de poulet (FPA et FPP). Le témoin non fertilisé quant à lui donne une meilleure MCV que les GFV vu le prix unitaire élevé de cet engrais organique.

Tableau 7. Marge sur coûts variables (MCV) de la rotation selon l'engrais de ferme

Engrais de ferme	Engrais verts	Revenu moyen ($/ha)	Coûts variables moyen ($/ha)	MCV moyenne ($/ha)
LP	Pois fourrager	10 202,88 $	3 260,82 $	6 942,06 $
	Témoin sans EV	9 962,17 $	2 986,61 $	6 975,56 $
	Trèfle intercalaire	10 124,56 $	3 174,56 $	6 950,00 $
	Moyenne LP	**10 096,54 $**	**3 140,66 $**	**6 955,88 $**
FPA	Pois fourrager	9 942,34 $	3 233,41 $	6 708,92 $
	Témoin sans EV	10 015,91 $	3 009,83 $	7 006,08 $
	Trèfle intercalaire	9 525,97 $	3 119,64 $	6 406,33 $
	Moyenne FPA	**9 828,07 $**	**3 120,96 $**	**6 707,11 $**
FPP	Pois fourrager	9 929,24 $	3 285,33 $	6 643,91 $
	Témoin sans EV	8 776,24 $	2 936,85 $	5 839,39 $
	Trèfle intercalaire	9 032,72 $	3 132,47 $	5 900,26 $
	Moyenne FPP	**9 246,07 $**	**3 118,22 $**	**6 127,85 $**
Témoin sans EF	Pois fourrager	8 663,25 $	2 809,00 $	5 854,25 $
	Témoin sans EV	7 413,74 $	2 452,67 $	4 961,07 $
	Trèfle intercalaire	7 938,91 $	2 670,15 $	5 268,75 $
	Moyenne Témoin	**8 005,30 $**	**2 643,94 $**	**5 361,36 $**
GFV	Pois fourrager	9 662,71 $	4 768,02 $	4 894,68 $
	Témoin sans EV	8 971,92 $	4 457,17 $	4 514,74 $
	Trèfle intercalaire	9 531,04 $	4 677,42 $	4 853,61 $
	Moyenne GFV	**9 388,55 $**	**4 634,21 $**	**4 754,35 $**
	Moyenne générale	**9 312,91 $**	**3 331,60 $**	**5 981,31 $**

Pour les engrais verts, le pois fourrager à la dérobée génère des coûts variables à l'hectare supérieurs de 116$ aux coûts variables à l'hectare du trèfle en intercalaire. Malgré cela, il offre une meilleure MCV. En effet cela s'explique par le fait que le revenu moyen généré par les parcelles ayant eu le pois fourrager à la dérobée est supérieur au revenu moyen des parcelles ayant eu le trèfle, de l'ordre de 449$ ha^{-1}. Il est donc possible de conclure dans cette séquence de rotation, pour ce site, que le pois fourrager à la dérobée permet d'obtenir de meilleurs rendements et une meilleure rentabilité économique que le trèfle en culture intercalaire.

Pour les engrais de ferme, les parcelles ayant reçu le LP donnent de loin le meilleur revenu moyen à l'hectare, soit 10 096$ ha^{-1} ce qui représente 267$ ha^{-1} de plus que le 2ème meilleur revenu moyen obtenu avec les parcelles

ayant reçu du FPA. Pourtant les parcelles avec LP génèrent des coûts variables (3 141$ ha^{-1}) sensiblement similaires aux coûts générés par le FPP (3 121$ ha^{-1}) et le FPA (3 118$ ha^{-1}), soit une différence de coûts de moins de 25$ ha^{-1}. Ainsi, à coûts presque similaires aux coûts variables des fumiers de poulet, le LP offre de meilleurs rendements et donc une meilleure rentabilité économique.

Le témoin non fertilisé donne une meilleure MCV que les GFV (Tableau 7). Pourtant, les parcelles aux GFV donnent un revenu moyen (9389$ ha^{-1}) supérieur au revenu des parcelles témoin (8005$ ha^{-1}) et même aux parcelles ayant reçu le FPP (9246$ ha^{-1}). Les parcelles de GFV donnent la plus faible rentabilité économique parce que le coût de fertilisation des GFV est très élevé. On observe une différence de coûts variables moyen de près de 1500$ ha^{-1} entre l'utilisation des GFV et les autres types d'EF. Ainsi, l'utilisation des GFV appliquée au printemps et à une dose de 100 kg $N_{efficace}$ ha^{-1} n'est pas une bonne option économique puisque dans ces circonstances il devenait plus intéressant économiquement de ne pas fertiliser du tout.

Par ailleurs, si on compare les résultats du présent projet à ceux d'une référence économique du CRAAQ, pour une rotation similaire (maïs-grain, soya, blé) en moyenne, de meilleurs résultats agronomiques et économiques ont été obtenus dans le cadre de l'étude (Tableau 8). Dans le cas de la référence[5], le trèfle en intercalaire et le fumier de poulet ont été utilisés et une MCV de 5 907$ ha^{-16} a été obtenue. Dans le cas de l'expérimentation, une MCV moyenne de 6 042$ ha^{-1}a été obtenue en ne considérant pas les parcelles témoins. Les régies testées donnent donc toutes une meilleure rentabilité économique qui peut s'expliquer dans un premier temps par une différence de plus de 100$ ha^{-1} entre la MCV moyenne de l'expérimentation et la MCV de la référence économique et dans un second temps, la différence de MCV aurait été encore plus importante si les prix de vente unitaire étaient similaires. En effet, même avec des rendements élevés (Tableau 8) comparativement à la référence, la différence entre les revenus a été atténuée par des prix plus faibles. Certes, il est souvent habituel d'obtenir des rendements plus élevés en contexte expérimental, quoique les rendements obtenus dans ce contexte demeurent dans l'intervalle de variation des rendements obtenus[7] à la ferme, sauf pour le blé.

[5] Entreprise céréalière biologique, Budget d'exploitation. AGDEX 111.19/821 2017

[6] MCV $\left(\frac{\$}{\text{ha}}\right) = \sum_{i=1}^{3} \frac{MCV_i}{Superficie\ récoltée_i} + \frac{Coûts\ d'amélioration\ du\ sol}{Superficie\ totale\ récoltée}$ Avec i les trois cultures

[7] Variation rendement : 3,9-11T/ha pour le maïs-grain, 1,2-3T/ha pour le soya et 1,6-3T/ha pour le blé

Tableau 8. Comparaison du rendement et du revenu entre la référence du CRAAQ et les résultats.

	AGDEX			Expérimentation		
Culture	**Rendement ($T\ ha^{-1}$)**	**Prix unitaire ($\$\ T^{-1}$)**	**Revenu ($\$\ ha^{-1}$)**	**Rendement [8] ($T\ ha^{-1}$)**	**Prix unitaire ($\$\ T^{-1}$)**	**Revenu ($\$\ ha^{-1}$)**
Blé	2,43	606 $	1473 $	3,90	575 $	2 243 $
Maïs-grain	7,00	526 $	3682 $	9,50	485 $	4 608 $
Soya	2,36	1073 $	2532 $	2,80	1 048 $	2 934 $

En résumé, le pois fourrager à la dérobée permet d'obtenir de meilleurs rendements et une meilleure rentabilité économique que le trèfle en culture intercalaire. Pour les engrais de ferme, à coûts presque similaires aux coûts variables des fumiers de poulet, le lisier de porc, apporté en post-émergence, offre un meilleur rendement et donc une meilleure rentabilité économique. Même si les GFV s'avèrent une option intéressante sur le plan agronomique (3ème meilleur rendement/revenu), sur le plan économique, ce choix est le moins rentable car les coûts de fertilisation qui lui sont associés sont très élevés. Toutefois, selon une étude en cours (Landry et coll. 2018), l'efficacité fertilisante des GFV serait plus élevée que celle utilisée actuellement sur la base des valeurs références (CRAAQ 2010). De plus, les mesures *in situ* des flux de nitrate par Landry et Coll. (2018) et la présente étude révèle que les GFV minéralisent beaucoup plus rapidement qu'attendu. Les GFV pourraient donc être utilisées à dose moindre en valorisant deux de leur qualité, soit leur haute efficacité et leur applicabilité en bande. Celles-ci pourraient donc être apportées en bande, en post-émergence du maïs, tout comme le lisier. Une meilleure synchronisation du relâchement de NO_3 des GFV avec la fenêtre de besoin maximale en N de la culture grâce à un temps d'application optimisé favoriserait probablement de meilleurs rendements en grains par kg N_{eff} apporté. Tout ceci pourrait hausser les gains économiques pouvant être réalisés avec cet engrais. Néanmoins, au final, dans cette étude, la meilleure option économique est demeurée la régie combinant le pois fourrager à la dérobée après la récolte du blé et le lisier de porc appliqué en post émergence du maïs-grain.

[8] Calculé en écartant les parcelles témoins

4 CONCLUSION

En résumé, dans cette étude, les EV de légumineuses ont fourni du N disponible très rapidement au printemps et les pics de NO_3 atteints tendaient à être d'intensité similaire à ceux des EF. Les EV apparaissent donc comme un bon intrant pour fournir de l'azote, tout en limitant les apports de P et de K. Il serait toutefois plus avantageux de trouver un moyen de mieux synchroniser leur relâchement de NO_3, très hâtif, avec le pic de besoin en N de la culture, tel qu'atteint avec l'application en post-émergence du lisier de porc dans le maïs-grain. La pratique de l'apport de EV fauché-récolté ou «cut and carry» par exemple pourrait permettre cet ajustement. Dans cette étude, le pois fourrager à la dérobée est apparu très performant. Apporté seul, il a permis de produire un rendement similaire à celui du FPP (moy. 7 T ha^{-1}) dans un sol qui répond fortement au N (4,9 T ha^{-1} avec témoin 0N) et ce, malgré une biomasse plus faible qu'attendue. Cela démontre l'excellent potentiel des EV qui ont aussi permis d'obtenir un P_{eau} du sol à des concentrations similaires aux EF pour des apports de P_{total} 30-50 fois inférieurs, ainsi que des teneurs foliaires en P du maïs adéquates. Ainsi, pour un sol à 6 % ISP comme dans cette étude, il n'était pas nécessaire d'apporter des quantités de P de l'ampleur de celle apportée par les EF. Ce projet démontre aussi que pour obtenir le meilleur rendement possible du fumier de poulet à griller, celui-ci doit préférablement être appliqué en automne et non au printemps. À l'opposé, les granules de fientes de volailles appliquées à la volée au printemps minéralisent trop hâtivement, ce qui diminue grandement l'effet fertilisant qui peut en être obtenu. Leur application en bande 2-3 semaines avant la fenêtre de besoins maximaux de la culture produite devrait être testée. Des quantités moindres pourraient ainsi peut-être être appliquées avec de meilleurs effets sur les rendements. Puisque cet EF est plus dispendieux, cette meilleure valorisation pourrait permettre sa justification économique. D'un point de vue santé des sols, comme les deux types d'engrais ont affecté des indicateurs différents, cette étude renforce l'intérêt de miser sur une régie mixte. De plus, le lien hautement significatif entre les EF et le NO_3 résiduel retrouvé dans les strates de sol jusqu'à 60 cm, et jusqu'à 1,5 à 2 ans après leur application, indique que leur apport doit être géré rigoureusement. Tant la dose que le moment doivent être considérés, afin d'éviter un excès d'apport ou une sous-utilisation due à une mauvaise synchronisation relâchement-prélèvement par la culture, ce qui hausserait directement et durablement les risques de lessivage du NO_3 dans l'environnement.

RÉFÉRENCES

AFNOR. 2005. Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique : Méthode de caractérisation de la matière organique par solubilisations successives. Association française de normalisation. Norme XP U p.44-162.

AFNOR 2018. Amendements organiques et supports de culture - Caractérisation de la matière organique par la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote. Association française de normalisation. Norme FD U4-163.

Beaudet et coll. 2003. Description statistique des propriétés chimiques des sols minéraux du Québec. MAPAQ, IRDA, Québec. 112 p.

Belzile et Grondines. 2015. Compléments d'analyse économique à la recherche agronomique et agroenvironnementale en grandes cultures. Rapport final présenté au Réseau Innovagrains. IRDA. 68 p.

Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). Québec. Agdex 533, méthode SS-1.

Côté et coll. 2018. Action spécifique en agriculture biologique à la plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA, volet grandes culture. Rapport final présenté au MAPAQ. 48 p.

CRAAQ. 2010. Guide de références en fertilisation du Québec. 2ième Édition. Ste-Foy, Québec : CRAAQ . 293 p.

Duval et coll. 2015. Remplacer l'azote venant des apports de fumier par des engrais verts de légumineuses; des exemples au Québec et ailleurs en Amérique du Nord. Disponible en ligne http://www.cetab.org/publications/remplacer-lazote-venant-des-apports-en-fumier-par-des-engrais-verts-de-legumineuses.

Fragaria et coll. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 36:2733-2757.

Gee, G.W. et Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1. ASA. Monograph No 9. 2nd edition. Madison, WI.

Giroux, M. et Audesse, P. 2004. Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. Agrosol 15(2):107-110.

Institut de la statistique du Québec. 2018. www.stat.gouv.qc.ca

Isaac, A.R. et Johnson, W.C. 1976. Determination of nitrogen in plants tissue using a block digestor. J. AOAC 59 :98-100.

Landry, C., P. Dubé, J. Mainguy, D. Pagé et D. Y. Martin. 2011. Évaluation de l'efficacité fertilisante en N et P, et de l'ISB de la fraction solide de lisier de porcs conditionnée obtenue du séparateur décanteur centrifuge afin d'en déterminer la valeur économique. IRDA. 96 pages.

Landry, C. et coll. 2018. Miser sur les engrais verts en grandes cultures biologiques pour limiter les apports de phosphore. Présentation au Colloque Bio pour tous du 22 février. Cetab +

Linères et Djakovitch. 1993. Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. Dans Decroux et Ignazi (eds.) Matières organiques et agriculture. Quatrième journée de l'analyse de terre (Gemas). Cinquième forum de la fertilisation raisonnée (Comifer), 16-18 novembre 1993. Pages 159-168.

MDDELC. 2014. Guide de référence du Règlement sur les exploitations agricoles. MDDELC. 182 p.

N'Dayegamiye et coll. 2014a. Gestion efficace et intégrée des rotations, du travail du sol, des fumiers et des composts pour une rentabilité accrue en agriculture biologique. Rapport final de recherche, PCAA CDAQ et InnovBio MAPAQ, 20 pages.

N'Dayegamiye et coll. 2014b. Impact agronomique et économique des légumineuses dans les rotations agricoles. Rapport final de recherche, PCAA CDAQ. 20 pages.

Nduwamungu. 2006. Stabilité biologique et pouvoir tampon des amendements et des engrais organiques. Thèse de doctorat. Université Laval. 110 pages.

Nyiraneza et coll. 2010. Soil and Crop Parameters Related to Corn Nitrogen Response in Eastern Canada. Agr. J. 102 :1478-1490

Nziguheba, G. et coll. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. Plant and soil. 198 : 159-168.

Sall et coll. 2015. Monographie de l'industrie des grains au Québec. MAPAQ. 27 p.

Salomons, W. et Gerritse, R.G. 1981. Some observations on the occurrence of phosphorus in recent sediments from western Europe. The Science of the Total Environment 17:37-49.

Sissingh, H.A. 1971. Analytical technique of the PW method used for the assessment of the phosphate status of arabe soils in the Netherlands. Plant ans Soil 34:483-486.

Thomas, G.W., 1982. Exchangeable cations. Dans : Methods of soil Analysis . (AL Page et al, eds) Agronomy 9 ; 154-157 (Madison).

Tran, T.S., M. Giroux, et A. N'Dayegamiye. 1992. Utilisation rationnelle des fumures azotées minérales : aspects agronomiques et environnementaux. Agrosol 5 (2):18-25.

Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec

- 2018. *Blé panifiable biologique – Budget à l'hectare (AGDEX 112.19/821 2018*). CRAAQ, 6 pages.
- 2018. Maïs-grain biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 111.19/821a). CRAAQ, 5 pages.
- 2018. Soya humain biologique - Budget à l'hectare (AGDEX 141.19/821). CRAAQ, 5 pages.
- 2018. Prix des grains de semences (AGDEX 100.45/855). CRAAQ, 3 pages.
- 2018. Machinerie, Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés (AGDEX 740/825). CRAAQ, 25 pages.
- 2017. Valeur de remplacement engrais de ferme (AGDEX 538). CRAAQ, 4 pages.
- 2017. Entreprise céréalière biologique, Budget d'exploitation (AGDEX 111.19/821). CRAAQ, 11 pages.

ANNEXE A – QUALITÉ BOULANGÈRE DES GRAINS DE BLÉ

LES MOULINS DE SOULANGES

Résultats d'analyses

GRAINS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% D'HUMIDITÉ	9,1	8,8	8,2	8,6	9,5	9	8,8	8,4	8,4
% DE PROTÉINE	10,6	10,5	10,7	12	12,6	12,2	11	11	11,1
% DE CENDRES	1,29	1,39	1,47	1,45	1,4	1,46	1,44	1,45	1,47
INDICE DE CHUTE	373	375	342	382	386	415	391	361	351
VOMITOXINE PPM:	0,7	0,5	1	1,3	0,9	0,7	0,4	0,7	0,7
GPT									
PMT	115	131	142	100	102	111	129	118	127
BEM	50	50	50	58	61	58	53	52	54
GLUTEN HUMIDE	32,6	32,8	33,1	35,1	36,4	36,1	33,7	33,7	33,8

Les numéros d'échantillons correspondent aux traitements suivants : pois fourrager (1-5-9), trèfle intercalaire (3-4-8) et témoin sans EV (2-6-7). Les échantillons 1-2-3, 4-5-6 et 7-8-9 ont été prélevés dans les blocs 1, 2 et 3, respectivement.

ANNEXE B – CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DU SOL

Paramètres	Valeurs
Printemps 2015	
pH_{eau}	7,2
Matière org. (%)	3,5
C_{tot} (%)	1,9
N_{tot} (%)	0,2
Éléments majeurs Mehlich III (kg ha^{-1} b.s.)	
P	134
K	508
Ca	7458
Mg	683,2
Al	1008
P_{M3}/Al_{M3} (%)	6,2