

Impacts des périodes d'épandage de fumier sur la culture du maïs grain

07-BIO-17

Rapport d'étape, avril 2011

Jean Cantin, M.Sc., agronome
Pour ConseilSol

 **irda** Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

 **CEROM**
Centre de recherche sur les grains inc.

 **Clubs conseils**
en agroenvironnement
Club ConseilSol

**Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation**

Québec 

Programme de soutien au
développement de l'agriculture biologique

Table des matières

Introduction	6
Mise en contexte	6
État des connaissances	7
Le projet	10
Méthodologie	11
Caractérisations des sites d'essais	13
La variation de l'azote des fumiers	14
Les variations des doses d'azote appliquées	16
Lectures de la chlorophylle	20
La compaction	27
Les rendements	27
Conclusion	31
Bibliographie	32

Liste des tableaux et figures

Tableau_1:	Différents facteurs et processus des pertes d'azote	10
Tableau_2:	Caractéristiques des sites d'essais expérimentaux	14
Tableau_3:	Variations des résultats d'analyses des fumiers de poulets échantillonnés à chaque épandage	15
Tableau_4:	Variations des résultats d'analyses des lisiers de porcs échantillonnés à chaque épandage..	16
Tableau_5:	Gain de rendement par kg d'azote total épandus sous formes de lisiers de porcs et de fumier de poulets, selon les différentes périodes d'application. Essais au CÉROM_2010.....	28
Figure_1 :	Comparaison des stades du développement pour les principales grandes cultures du Québec	6
Figure_2 :	Dispositif expérimental en trois blocs complets aléatoires des parcelles de maïs chez RAVA_2008	11
Figure_3 :	Dispositif expérimental du site du CÉROM en 2010 en blocs complets aléatoires avec une composante en « Split Plot » pour l'évaluation des effets de compaction simulée	12
Figure_4 :	Récolte avec la batteuse du CÉROM des deux rangs du centre (sur 8 rangs) des parcelles chez RAVA_2008	13
Figure_5 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez RAVA_2008	15
Figure_6 :	Corrélation entre la densité des fumiers de poulets à griller, et les résultats de la matière sèche du rapport d'analyse	16
Figure_7 :	Doses d'azote appliquées pour les fumiers de poulets, et un Fumier de bovins de boucherie (B). Essai chez RAVA_2008	17
Figure_8 :	Doses d'azote appliquées pour les essais chez DUBD_2009	18
Figure_9 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2009	18
Figure_10 :	Doses d'azote total appliquées pour les essais au CÉROM_2010	19
Figure_11 :	Conditions climatiques et dates d'épandage au CÉROM_2010	19
Figure_12 :	Site d'essais au stade végétatif chez RAVA_2008	21
Figure_13 :	Site d'essais au CÉROM_2010. Observations visuelles des variations d'efficacité de l'azote appliqué selon différentes dates d'épandage. Tous les résultats de chlorophylle et de rendements proviennent des 2 rangs centraux tel qu'indiqué sur les photos	21
Figure_14 :	Effet de bordure des rangs 1 et 4 dans les parcelles de 4 rangs sans engrais organique dans les essais au CÉROM_2010	21
Figure_15 :	Lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi pour les sept traitements appliqués pour les essais chez RAVA_2008	23

Figure_16 :	Lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi (trait plein) et sur les troisièmes feuilles sous l'épi des mêmes plants (trait pointillé) pour les périodes d'épandage ayant reçues des doses d'azote similaires. Pour les essais chez RAVA_2008	23
Figure_17 :	Différence entre les lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi et des 3 ^e feuilles sous l'épi pour les applications de lisiers de porcs selon les différentes dates d'épandage des essais au CÉROM_2010	25
Figure_18 :	Différences entre les lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi et des 3 ^{ième} feuilles sous l'épi pour les applications de fumier de poulets selon les différentes dates d'épandage des essais au CÉROM_2010	25
Figure_19 :	Lectures de la chlorophylle de la feuille de l'épi pour les différents engrais organiques et les différentes dates d'épandage. Pour les essais au CÉROM_2010	26
Figure_20 :	Moyennes des lectures de la chlorophylle de la feuille de l'épi pour les des deux types d'engrais organiques, pour les différents zones, compacte et non compacte, selon les différentes dates d'épandage. Pour les essais au CÉROM_2010 ...	26
Figure_21 :	Corrélation entre les doses d'azote appliquées au cours de deux dernières années et les rendements de maïs grain obtenus en 2010, selon les types d'engrais organiques et les différentes périodes d'épandage	29
Figure_22 :	Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais chez RAVA en 2008	29
Figure_23 :	Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais chez DUBD en 2009	30
Figure_24 :	Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais 2010 au CÉROM	30
Figure_25 :	Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du lisier de porcs, pour les essais 2010 au CÉROM	31

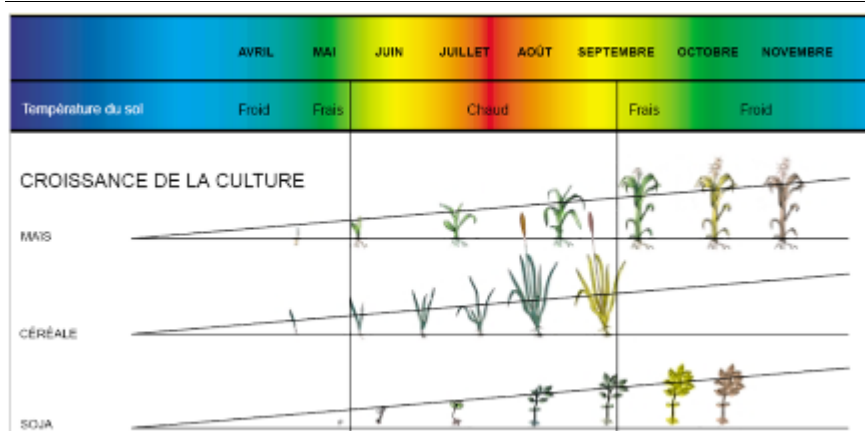
Introduction

La production du Québec en maïs grain biologique est évaluée à environ 20 000 tonnes par année. La moitié est mise en marché et est exportée en partie vers des fermes d'élevages biologiques du nord-est américain. La demande est sans cesse croissante et l'offre insuffisante.

Mise en contexte

Les agriculteurs et leurs conseillers agricoles doivent conjuguer avec des préoccupations environnementales lorsqu'ils planifient la production de grains biologiques dite de grandes cultures. Dans ce contexte, les épandages d'engrais organiques préoccupent les producteurs de maïs grain biologique. La rentabilité d'une entreprise agricole nécessite des conseils agronomiques bien adaptés, et il y a un besoin d'expertise agronomique de pointe pour optimiser les recommandations d'azote organique.

La culture du maïs est considérée comme une culture de longue durée, contrairement à celle du blé. Ses besoins en azote sont plus élevés, et les pics de la demande sont intenses au moment où sa croissance est rapide (montaison / début juillet). Un apport constant d'azote minéral doit pouvoir alimenter la culture au début de la saison de croissance lorsque la température est plus ou moins favorable à la minéralisation. Pour pallier à ce besoin, les engrais organiques doivent contenir une proportion importante d'azote sous formes minérales facilement assimilables par la plante. Contrairement aux céréales à pailles, les formes organiques d'azote facilement minéralisables pourront approvisionner les besoins de la culture durant les mois d'août et septembre (Figure_1).



Figure_1 : Comparaison des stades du développement pour les principales grandes cultures du Québec.

Les contraintes environnementales du REA restreignent les épandages après le 1er octobre, si aucune justification agronomique ne peut être soutenue et défendue (REA 2004). Pour différentes raisons les producteurs de maïs grain "biologique" planifient, année après années, leurs applications d'engrais organiques après le 1er octobre.

Le REA contredit certaines recommandations de chercheurs américains et ontariens qui préconisent les épandages d'automne très tardif plutôt qu'hâtif. L'azote sous sa forme ammoniacale telle qu'on la retrouve régulièrement dans les engrais organiques (NH_3 - 82%, fumier, lisier, urée...), est mieux retenue par les particules de terre que sous sa forme NO_3^- . Lorsque les températures du sol d'automne sont inférieures à 10°C au moment des épandages, la transformation du NH_4^+ en NO_3^- est ralentie. À cause de sa polarité positive (NH_4^+), la forme ammoniacale est retenue par la matrice du sol (polarité négative) formée de complexes argilo-humiques.

Plusieurs facteurs interviennent dans la dynamique de l'azote des engrais organiques (OAQ 2006; Poirier et Giroux 2004; Cantin 2006). Outre les considérations agronomiques, les considérations de pollution diffuse s'imposent de plus en plus dans la gestion des engrais organiques. Au cours des dernières années, certaines divergences d'opinions sont apparues dans le milieu scientifique concernant les risques environnementaux reliés aux différentes périodes d'épandage. Une récente étude (Cantin 2006) a démontré une meilleure performance de la culture du maïs grain suite aux épandages de fumier de bovins laitiers durant l'automne tardif en comparaison avec l'automne hâtif ou au printemps. Ces résultats concordent avec certaines recommandations américaines (Forcella *et al.*, 2007; Sawyer 2001) ainsi que de l'Ontario (OMAFRA 2003). D'autres résultats (Cantin 2010), provenant d'une vaste étude sur les périodes d'épandage en culture de blé biologique, indiquent clairement que les conditions météorologiques et les conditions physiques du sol (compaction) sont les facteurs qui ont le plus influencé l'efficacité de l'azote des engrais organiques.

État des connaissances

Quelques études (Phillips *et al.* 1981; Comfort *et al.* 1987; Lachance *et al.* 2001) n'ont rapporté aucune différence significative pour les rendements de maïs grain suite à des épandages d'engrais organiques à différentes périodes de l'année, tandis que d'autres études (Côté *et al.* 1999; Randall *et al.* 1999) ont rapporté d'importantes différences.

Selon Côté *et al.* (2004), il faut établir des relations entre les engrais, les systèmes de cultures, les périodes d'épandage et la nature des sols. Concernant la nature du sol, Havlin *et al.* (1999) rapporte que certaines argiles composées principalement de vermiculite et d'illite peuvent, indépendamment de l'activité biologique du sol (immobilisation abiotique), fixer d'importantes quantités de $\text{NH}_4\text{-N}$ entre leurs feuillets d'argile. Il ajoute que certains sols de

l'Est du Canada ont un pouvoir de fixation très élevé pour les fertilisants appliqués sous forme de $\text{NH}_4\text{-N}$, certaines évaluations pouvant atteindre 60% en surface, et 70% dans le sous-sol. La minéralogie de la fraction argileuse de tous les sols étudiés au Québec par Simard *et al.* (1990), et particulièrement ceux des basses terres de la plaine du Saint-Laurent, est principalement dominée par de la vermiculite. L'autre portion de la texture du sol se compose principalement de particules de limon fin qui, selon Havlin *et al.* (1999), est la fraction du limon qui a la capacité de fixer davantage de $\text{NH}_4\text{-N}$ et de ralentir la nitrification. Giroux *et al.* (2003) avaient également indiqué d'autre part, que la présence de micropores dans les argiles leur conférait une meilleure capacité de rétention des $\text{NO}_3\text{-N}$ et conséquemment diminuait leur vulnérabilité aux pertes de $\text{NO}_3\text{-N}$ par lessivage. Ces immobilisations abiotiques contribuent pour une large part à maintenir la productivité du sol pour les années subséquentes comme l'indique l'étude de Sweeten (1998). Sweeten (1998) associait des augmentations de rendements de l'ordre de 31 à 85% pour des fourrages produits sur des sols amendés d'engrais organiques trois années auparavant.

Ce constat porte à croire que l'incorporation d'une dose agronomique de fumier à l'automne dans un sol argileux et froid a de très fortes probabilités de voir son $\text{NH}_4\text{-N}$ être retenu et emmagasiné dans le sol. Plusieurs recommandations sont faites en ce sens dans les guides américains en fertilisation. Les recommandations du Minnesota (Randall *et al.* 2003) suggèrent d'attendre des températures de sol inférieures à 10°C avant de procéder aux épandages d'azote durant l'automne. Les températures froides limitent la minéralisation et exposent moins l'azote au lessivage et aux pertes ammoniacales (odeurs). Les résultats de recherches de Rochette *et al.* (2004) confirment ces effets significatifs de la température sur la minéralisation. Lors de ses essais de comparaison entre des applications de lisier de porc à l'automne et au printemps, ses résultats l'ont contraint à conclure que les températures froides enregistrées lors des applications de lisier le 13 octobre avaient vraisemblablement limité la nitrification et l'accumulation des nitrates dans le sol contrairement aux applications du 17 mai au printemps suivant. Moins de pertes d'azote avaient donc été enregistrées en faveur des applications d'automne.

Plusieurs caractéristiques des engrais organiques doivent également être considérées pour évaluer leur potentiel de fertilisation. Selon Giroux *et al.* (2003), le taux de libération des nitrates dans les sols à la suite des épandages est directement lié aux caractéristiques des engrais. Les engrais organiques ayant de faibles rapports C/N (<15), comme les lisiers, sont plus riches en azote minéral qui peut être rapidement disponible pour les plantes, ou en l'absence de culture, s'accumuler en grandes quantités dans les sols (N'Dayegamiye *et al.* 2004). Les lisiers sont donc plus vulnérables au lessivage. Les fumiers possédant un rapport C/N plus élevé (>15) ont une grande proportion d'azote sous forme organique. Ils libèrent leur azote graduellement dans les sols et présentent moins de risques de pertes de nitrates (N'Dayegamiye *et al.* 2004). Ces fumiers ont besoin d'une phase de minéralisation dans les sols afin que

leur azote soit rendu disponible pour les plantes. Il est important de synchroniser les phases de libération de l'azote avec les étapes de développement physiologique des cultures. Pour une date donnée au cours de la saison de croissance, les stades de développement sont différents entre une culture de maïs grain, de blé, ou de soya (Figure_4). Il faut donc viser à épandre les bonnes doses d'engrais à la bonne place et au bon moment, à défaut de quoi, il peut y avoir une importante accumulation de nitrates résiduels dans les sols à l'automne (Giroux *et al.* 2003).

Il est très fréquent d'avoir recours aux conditions climatiques ayant prévalu au cours des essais pour mieux comprendre les résultats d'études scientifiques sur la fertilisation. Plusieurs études citées par Fleming and Fraser (2000) dans leur revue de littérature sur les impacts des épandages d'hiver, font ressortir l'importance des conditions climatiques en relation avec l'efficacité des fumiers. Jokela *et al.* (1997), devant les résultats inattendus de son étude sur la meilleure date d'application de l'azote dans le maïs, concluait son analyse en révélant que les résultats seraient sans doute inversés si une autre distribution des précipitations printanières avait eu cours. Dans la conclusion de l'étude de Rochette *et al.* (2004), sur la comparaison entre les applications de lisier de porcs à l'automne et au printemps, les auteurs ont eu recours aux conditions climatiques pour expliquer que, contrairement à toute attente, les applications d'automne avaient subi moins de pertes d'azote. Dans une autre étude de comparaison entre des épandages d'automne et de printemps sur quatre années consécutives, Patni *et al.* (1984) conclut que la distribution des précipitations a eu beaucoup plus d'impact sur les pertes d'azote que les quantités de lisiers appliquées ou les textures de sol.

D'autres facteurs influencent également l'efficacité des engrais organiques, comme la qualité de la structure du sol, le compactage, la pente, et la hauteur de la nappe phréatique. Ces facteurs physiques influencent à leur tour un ensemble de processus physico-chimiques qui interviennent dans la dynamique de l'azote (Tableau_1). Une connaissance approfondie du cycle de l'azote est donc importante pour une interprétation agronomique adéquate des résultats d'essais.

Tableau_1: Différents facteurs et processus des pertes d'azote.

Facteurs impliqués dans la perte d'azote:

1. L'azote total appliqué
2. La compaction du sol
3. Précipitations
4. Drainage de surface et souterrain
5. Température
6. Type de sol
7. Structure du sol
8. Travail du sol et profondeur d'incorporation
9. Température du sol
10. Structures de contrôle de l'érosion
11. Types d'engrais organique
12. Incorporation et délai d'incorporation
13. Date et mode d'épandage
14. Uniformité d'épandage
15. Historique des épandages
16. Rotations des cultures
17. La culture à fertiliser
18. Types d'engrais minéral
19. Mode d'application

Processus de pertes d'azote

1. Immobilisation (micro organismes, matière organique et résidus)
2. Fixation (NH_4^+ , sur m.o., argile et limon)
3. Rétrogradation (NH_4^+ , imbriqué entre les feuillets d'argile)
4. Dénitrification ($\text{NO}_3 \blacktriangleright \text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$)
5. Lessivage (NO_3^-)
6. Érosion (NH_4^+)

Le projet

Le projet consistait à évaluer les impacts d'une même dose d'azote organique, appliquée selon différentes dates d'épandage, sur la production du maïs. La planification du projet visait l'évaluation de plusieurs types de fumiers et de lisiers utilisés sur différents types de sol dans plusieurs régions du Québec. L'azote est l'élément principal qui retient notre attention dans ce projet puisqu'il est reconnu comme étant, et de loin, le principal élément limitant pour la production du maïs grain biologique.

Les essais ont débuté sur les terres des entreprises agricoles en collaboration directe avec les agriculteurs. Devant plusieurs constats d'échecs et d'imprécisions au niveau les résultats d'analyses et de la caractérisation des

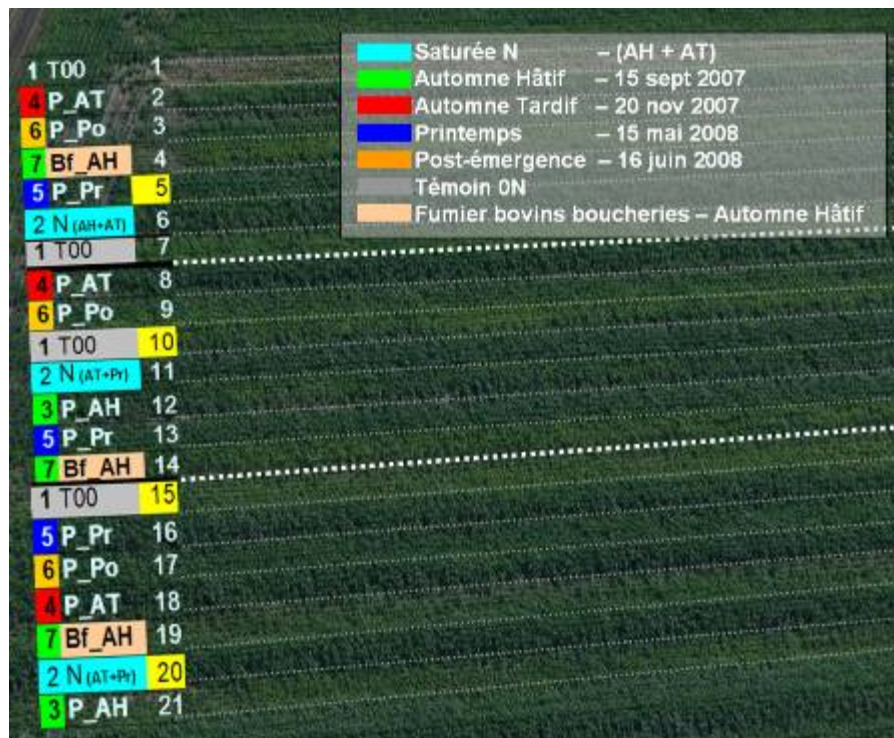
engrais organiques, le projet a été transféré à la station de recherche du CÉROM pour la saison de culture de 2010. Des améliorations substantielles ont été observées dans la précision des doses d'azote appliquées.

La dimension des essais à la ferme a été ajustée aux équipements des participants tout en respectant un protocole de recherche simplifié. Un protocole plus élaboré a été implanté au CÉROM au cours de la dernière année, où les épandages, les incorporations des engrais organiques, ainsi que les sarclages, ont été fait à la main.

Chacun des sites a fait l'objet d'un suivi agronomique par un agronome.

Méthodologie

Un protocole de recherche simple, disposé en trois blocs complets aléatoires a été installé au champ (Figure_2) sur chacune des 3 fermes participantes.

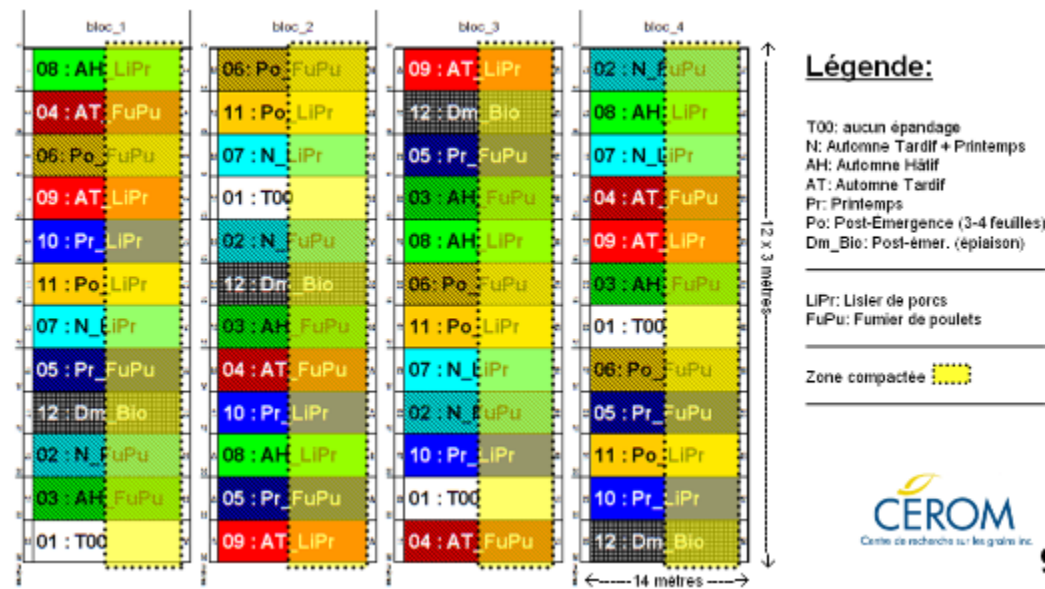


Figure_2: Dispositif expérimental en trois blocs complets aléatoires des parcelles de maïs chez RAVA_2008.

Les différentes périodes d'épandage visées étaient : un témoin sans azote (**T0**), automne hâtif (**AH**), automne tardif (**AT**), printemps (**Pr**), post-émergence (**Po**) et un traitement saturé en azote (**N**) constitué de deux applications d'EO (AT + Pr). Chaque dose d'épandage fut calibrée sur place lors d'une des applications d'automne. Les doses d'azote ont été calculées pour être inférieures aux besoins de la culture, de manière à induire des carences d'azote qui permettent

d'observer l'efficacité de l'azote des différents traitements. Un échantillon d'EO a été prélevé à chacun des épandages pour une caractérisation complète des propriétés physiques et du contenu en éléments fertilisants. L'incorporation au sol des EO fut faite dans les 24 heures suivant chaque épandage.

Les parcelles du CÉROM étaient disposées en 4 blocs complets aléatoires avec une composante en « Split Plot » permettant d'évaluer l'effet de la compaction (simulation) associée à chacune des dates d'épandage (Figure_3). Le semis de maïs grain s'est fait suivant la culture du blé en 2009. Cette culture précédente de blé faisait également l'objet d'une étude sur l'impact des applications d'engrais organiques selon différentes périodes d'épandage dans la culture du blé biologique (Cantin 2010). Le même protocole expérimental a été appliqué pour le maïs. Les mêmes périodes d'épandage ont été appliquées exactement aux mêmes endroits sur le même site, c'est-à-dire que seule la culture a changé.



Figure_3 : Dispositif expérimental du site du CÉROM en 2010 en blocs complets aléatoires avec une composante en « Split Plot » pour l'évaluation des effets de compaction simulée.

Plusieurs lectures de la chlorophylle ont été faites à l'aide d'une pince à chlorophylle (Spad-Minola 520) permettant d'évaluer la synchronisation de la libération de l'azote des engrais organiques avec les besoins de la culture.

Les rendements ont été récoltés et évalués avec précision à l'aide de la mini-batteuse du centre de recherche sur les grains (CÉROM).

Les analyses statistiques ont été faites selon les procédures du modèle général linéaire du système SAS (Proc GLM).

Caractérisations des sites d'essais

Les premiers épandages d'EO reliés au projet ont débuté en septembre de l'année 2007 à la ferme RAVA. La production du maïs grain s'y fait sur des billons annuels. Les épandages d'AH ont été faits sur une culture d'engrais vert d'avoine juste avant la formation des billons. Les applications d'AT épandus sur les billons déjà formés n'ont pas été enfouit. Les applications de printemps ont été faits juste avant le décapage des billons quelques jours avant le semis. Le décapage et le semis ont été faits en deux opérations différentes. Les applications faites en post-levée ont été épandues juste avant le re-billonnage des rangs. Les épandages ont couverts 8 rangs de large. Les rendements ont été évalués sur les deux rangs du centre pour éviter les marges où un chevauchement des épandages a pu subvenir (Figure_4).



Figure_4 : Récolte avec la batteuse du CÉROM des deux rangs du centre (sur 8 rangs) des parcelles chez RAVA_2008.

Au total, trois différentes entreprises agricoles ont participé aux projets (Tableau_2). Un des sites (GAUM) a dû être abandonné après la levée du maïs. À cause des mauvaises conditions du printemps de 2008, plus de 80% des plants n'ont pas levé, ou n'ont pas survécu à la fonte du semis (maladie fongique). Au cours de cette même année 2008, le deuxième site a dû être ressemé à cause des pertes importantes des populations de maïs suite au printemps froid et pluvieux. Le site devait être abandonné, mais à la dernière minute, nous avons pris la décision de le récolter. C'est ce qui explique les très bas rendements de maïs de l'essai DUBD. Les résultats obtenus en 2010 proviennent du site installé sur les terres de la station de recherches du

CÉROM. Deux types d'engrais organiques y ont été épandus, soit un lisier de porcs et un fumier de poulets.

Les sols des différents sites sont argileux et représentatifs des terres de la plaine de Montréal.

Tableau_2 : Caractéristiques des sites d'essais expérimentaux.

Sites	Texture de sol	Travail primaire du sol	Rotation (cultures précédentes)	Historique d'application d'engrais organiques	Type d'engrais organiques
RAVA 2008	argile	Chisel / billons annuels	Soya / céréales	oui	Fumier de poulets
DUBD (compromis) 2009	argile	chisel	Soya / céréales	oui	Fumier de poulets
CAUM (abandonné) 2009	argile lourde	labour	Soya	oui	Fumier de poulets
CÉROM – 1 2010	loam argileux	labour	Sarazin / blé	oui	Fumier de poulets
CÉROM – 2 2010	loam argileux	labour	Sarazin / blé	oui	Lisier de porcs

La variation de l'azote des engrais organiques

Les épandages des essais RAVA ont été faits lors de bonnes conditions météo sur des sols bien ressuyés (Figure_5). Une dose d'épandage de 14 m³/ha a été calibrée à l'épandage d'AH correspondant à un poids de 8500 kg/ha. L'entreprise reçoit ses EO de plusieurs autres entreprises agricoles et les analyses de laboratoire ont révélé des variations importantes entre les différents arrivages (Tableau_3).

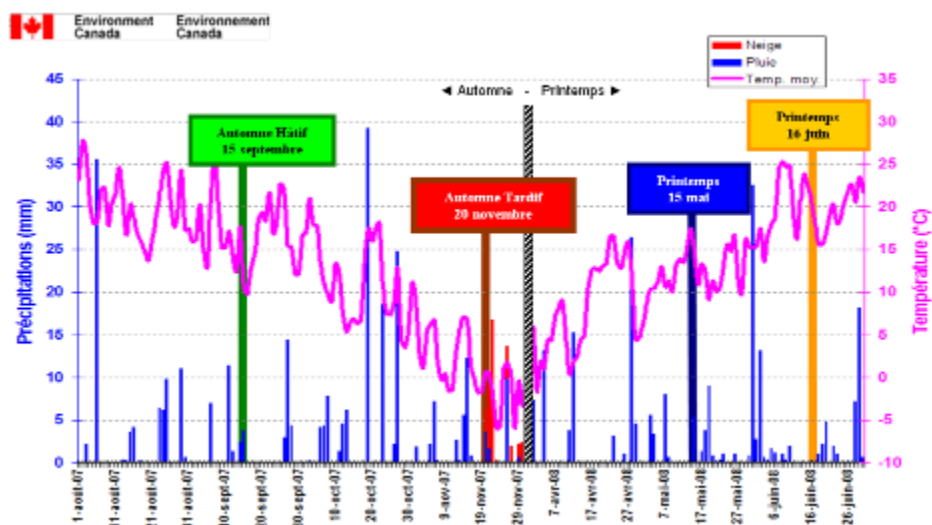


Figure 5 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez RAVA_2008.

Tableau 3 : Variations des résultats d'analyses des fumiers de poulets échantillonnés lors de chaque épandage.

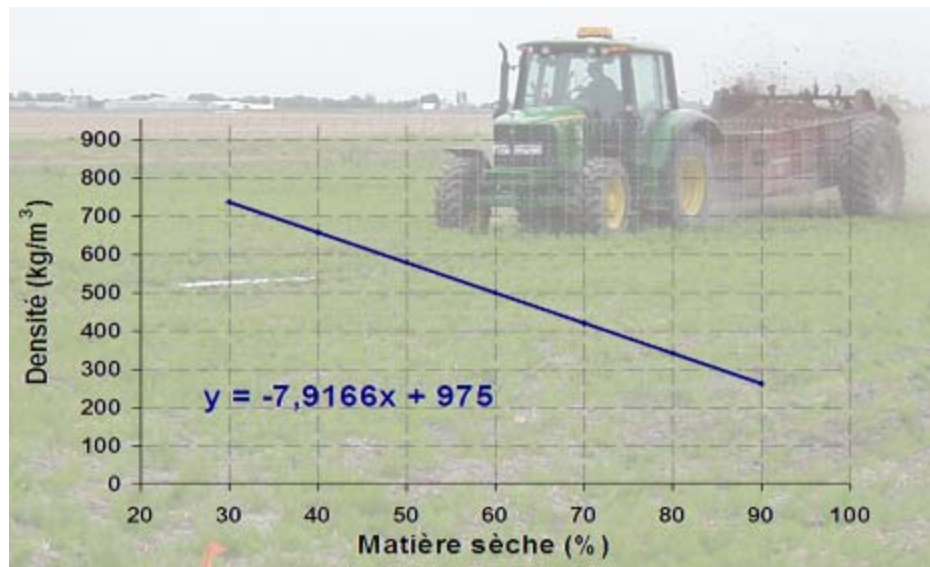
Échan.	N Total (mg/kg)	N -NH ₄ (mg/kg)	P (mg/kg)	Matière sèche (%)	C/N-org	Doses /ha
RAVA_AH 28/sept/2007	7790	2191	5034	23,2	13,5	14 m ³
RAVA_AT 20/nov/2007	21714	5885	9947	51,4	11,0	14 m ³
RAVA_Pr 15/mai/2008	17947	6796	8673	39,1	9,19	14 m ³
RAVA_Po 16/juin/2008	33364	5356	12261	66,4	9,18	14 m ³
DUBD_AH /sept/2008	26685	4723	11749	61,5	9,58	12,8 m ³
DUBD_AT /nov/2008	22823	5957	7701	51,0	9,26	12,8 m ³
DUBD_Pr ¹ /mai/2009	26355	6138	7777	60,2	11,2	12,8 m ³
DUBD_Pr ² /mai/2009	28240	4963	8420	63,8	10,8	12,8 m ³
CÉROM_AH 17/09/2009	28960	7710	7080	85,58	7,74	4286 kg
CÉROM_AT 25/11/2009	25980	8560	5760	89,17	9,67	4286 kg
CÉROM_Pr 22/04/2010	26850	7950	7630	85,91	13,07	5238 kg
CÉROM_Po 22/06/2010	22670	5300	9440	83,01	11,36	4762 kg

Tableau_4 : Variations des résultats d'analyses des lisiers de porcs échantillonnés lors de chaque épandage.

Échan.	N Total (mg/kg)	N -NH ₄ (mg/kg)	P (mg/kg)	Matière sèche (%)	C/N-org	Doses m ³ /ha
CÉROM_AH 17/09/2009	4040	2500	1130	3,63	3,00	31
CÉROM_AT 25/11/2009	4120	2500	1090	3,40	2,67	31
CÉROM_Pr 22/04/2010	3670	2370	1110	3,74	3,35	33
CÉROM_Po 22/06/2010	2590	2030	410	1,79	1,97	34

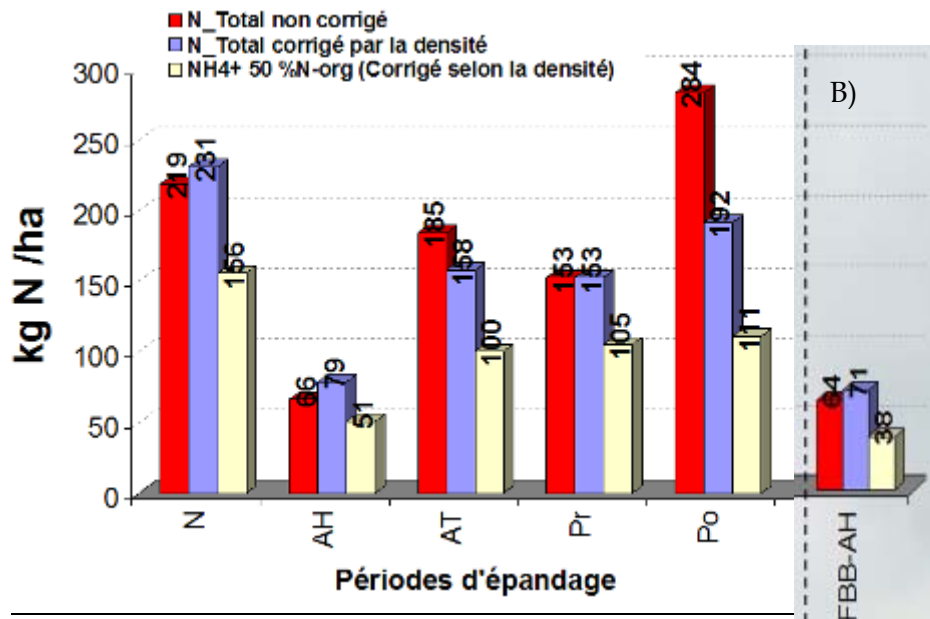
Les variations des doses d'azote appliquées

Malgré toutes les précautions qui ont été prises (même épandeur, même tracteur, même vitesse et RPM) pour garantir une même dose d'azote à chaque épandage, les résultats d'analyses des fumiers de poulets de la ferme RAVA varient beaucoup d'un épandage à l'autre. Certains correctifs ont été apportés en utilisant la corrélation qui existe entre la matière sèche et la densité des fumiers de poulets (Figure_6). En sachant qu'un même volume de fumier a été épandu pour chaque date d'épandage, il est possible de calculer l'azote théoriquement valorisable à partir des résultats d'analyses. Le rapport C/N-organique permet également de mieux prévoir l'efficacité de l'azote. Les résultats des calculs de l'efficacité potentielle de l'azote pour 100% du NH₄ + 50% de N_{organique} présentés à la Figure_7, sont relativement égaux. Ces résultats nous indiquent que les trois doses d'application AT, Pr et Po ont fourni des quantités équivalentes d'azote efficace à la culture de maïs.



Figure_6 : Corrélation entre la densité des fumiers de poulets à griller et les résultats de la matière sèche du rapport d'analyse.

Les épandages des essais DUBD ont également été faits lors de bonnes conditions météo sur des sols bien ressuyés (Figure_9). Les fumiers de la ferme DUBD_2009 sont beaucoup plus homogènes d'un épandage à l'autre (Tableau_3). Les épandages ont été faits à partir du même tas de fumier conservé tout au long du projet. Les calculs pour préciser l'efficacité de l'azote n'augmentent donc pas la précision des quantités valorisables par rapport aux quantités d'azote brutes apportées (Figure_8).



Figure_7 : Doses d'azote appliquées pour les fumiers de poulets, et un fumier de bovins de boucherie (B). Essai chez RAVA_2008.

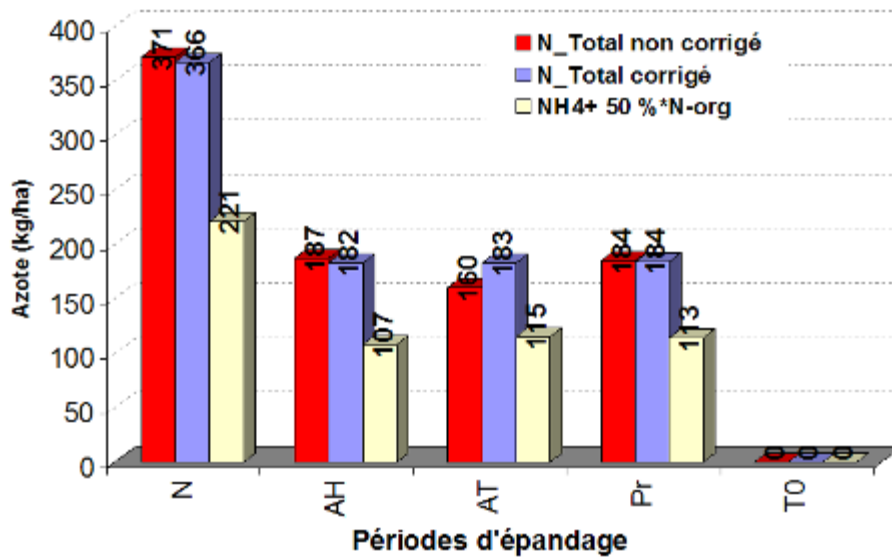


Figure 8 : Doses d'azote appliquées pour les essais chez DUBD_2009.

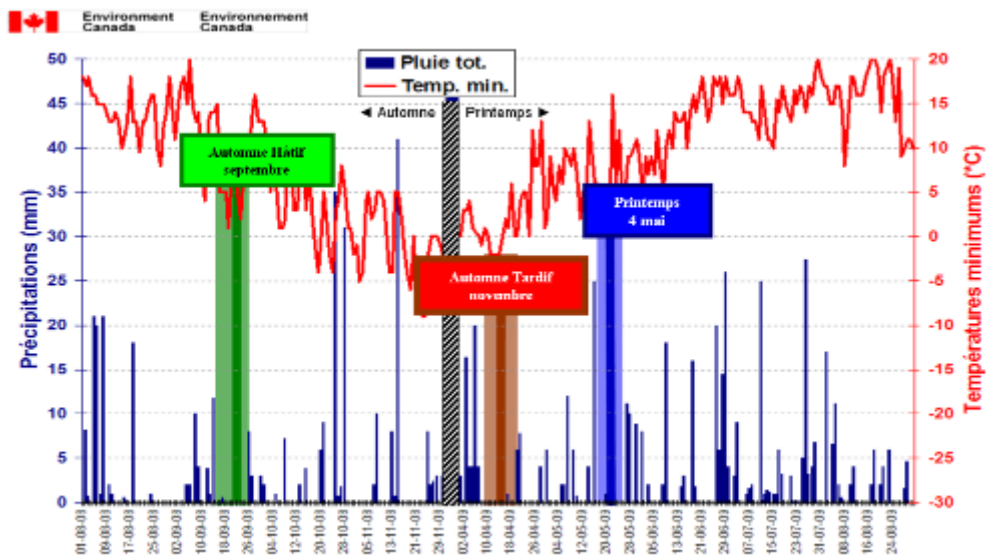


Figure 9 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2009.

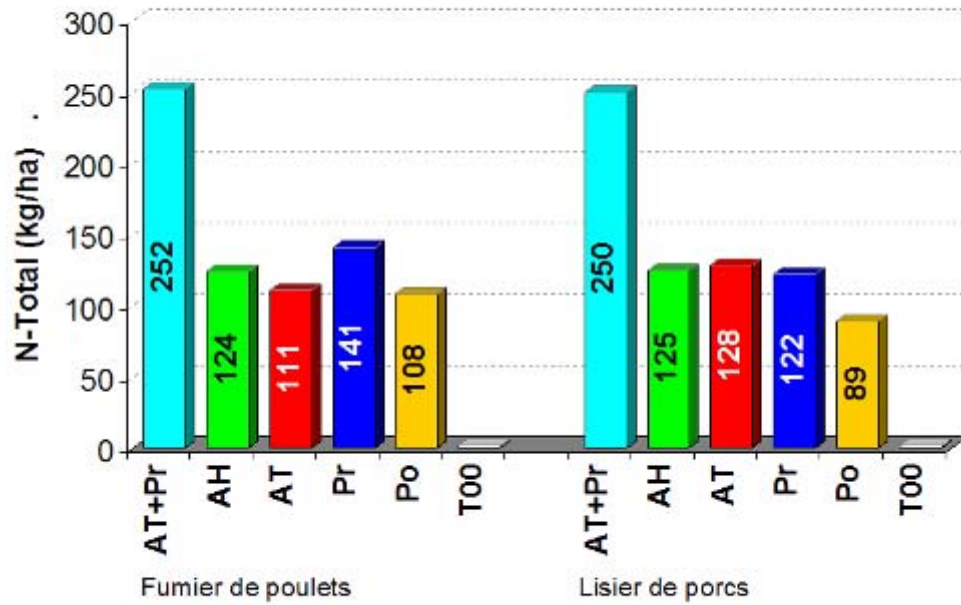


Figure 10 : Doses d'azote total appliquées pour les essais au CÉROM_2010.

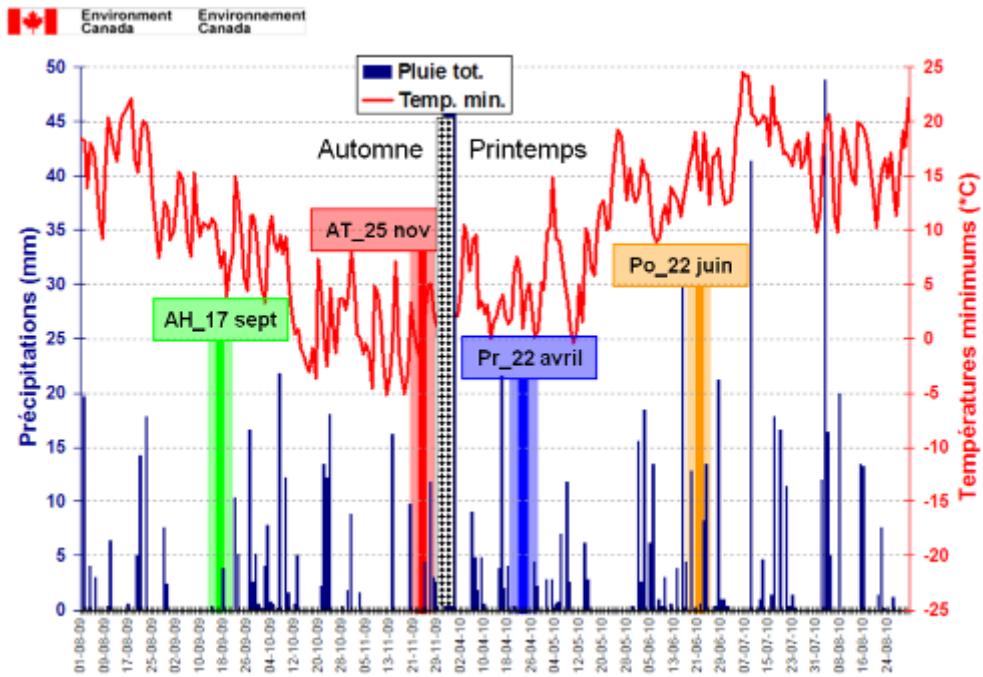


Figure 11 : Conditions climatiques et dates d'épandage au CÉROM_2010.

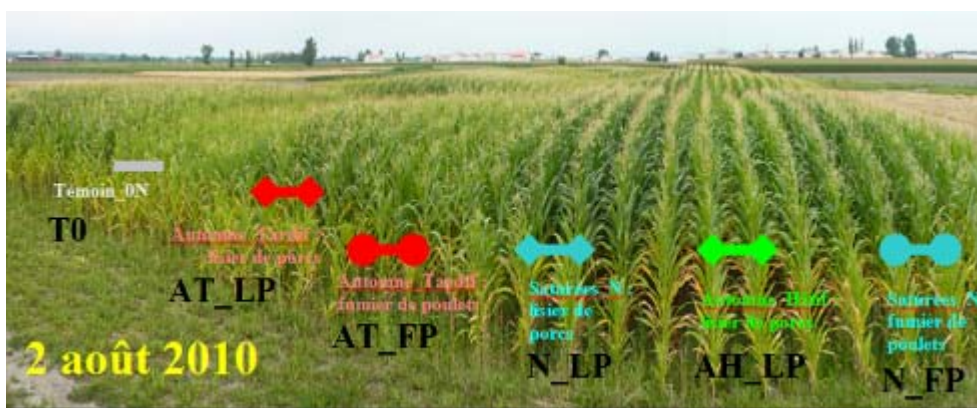
Les épandages manuels des essais au CÉROM ont également été faits lors de bonnes conditions météo sur des sols bien ressuyés (Figure_11). Les résultats d'analyses des engrais organiques sont stables pour les épandages d'automne. Toutefois, pour les épandages du printemps et de post-émergence, les résultats sont décevants. Les doses d'épandage ont été calibrées selon des résultats d'analyses d'échantillons prélevés un mois avant les épandages à même les engrais organiques entreposés au champ. Malencontreusement, le laboratoire, où les échantillons ont été analysés, a connu des ratés dans sa méthode d'analyse au printemps 2010. Donc, les résultats présentés sont parfois des moyennes de résultats d'analyses d'échantillons qui avaient été subdivisés en plusieurs sous-échantillons, et préservés pour pallier aux erreurs éventuelles.

Lectures de la chlorophylle

Les lectures de chlorophylle ont été faites avec le SPAD-520 de Minolta. D'importantes variations entre les différents traitements ont été visuellement perceptibles tout au cours de la saison de croissance (Figures_12 et 13). Les rangs 1 et 4 de la Figure 14 montrent les effets de bordure de parcelles où l'azote migre latéralement sur une courte distance, d'une parcelle à l'autre. Les lectures de la chlorophylle, faites à différentes dates sur la dernière feuille émergée (au stade végétation) ou sur la feuille de l'épi, permettent d'attribuer une valeur relative à ces variations.



Figure_12 : Site d'essais au stade végétatif chez RAVA_2008.



Figure_13 : Site d'essais au CÉROM_2010. Observations visuelles des variations d'efficacité de l'azote appliqué selon différentes dates d'épandage. Tous les résultats de chlorophylle et de rendements proviennent des 2 rangs centraux (sur une total de 4 rangs) tel qu'indiqué sur les photos.



Figure_14 : Effet de bordure des rangs 1 et 4 dans les parcelles de 4 rangs sans engrais organique dans les essais au CÉROM_2010.

La dynamique de l'azote, et de son absorption par la plante, sont rapportés aux figures 15 à 20. Les premières lectures de chlorophylle faites le 25 juin (Figure_15), soit plus d'un mois après les semis du 16 mai permettent de quantifier clairement les variations de couleurs qui étaient perceptibles au champ. Lors de cette première série de lectures, les applications en post-émergence du 16 juin n'avaient pas encore alimentées la culture. Les très faibles précipitations de pluie enregistrées avant et après le 16 juin (Figure_5) n'ont sans doute pas permis à l'azote épandu à la surface du sol de migrer vers les racines de la culture.

Les caractéristiques du fumier de bovins de boucherie (FBB) font en sorte que ses performances sont très différentes du fumier de poulets (FP) appliqué en AH à une dose d'azote total équivalente, soit de 66 et 64 kg/ha respectivement (Figure_7). Il semble y avoir eu une mobilisation de l'azote au début du printemps pour les applications de FBB, car les résultats de chlorophylle sont inférieurs au T0. Le FBB a commencé à livrer son azote seulement vers la fin juillet (Figure_15). L'efficacité du FBB surpasse celle du FP à partir de la fin août. Cette libération tardive de l'azote ne s'est pas traduite en augmentation de rendement, mais nous observons plutôt une baisse non significative d'environ 400 kg/ha par rapport au rendement du FP de l'AH. Ces résultats mettent bien en perspective l'importance de bien caractériser les engrais organiques pour mieux synchroniser le dégagement de l'azote avec les besoins de la culture.

Les lectures de la chlorophylle des parcelles « Saturées N » sont très semblables à celles des épandages en AH, AT, et Pr (Figure_15). Toutefois les rendements mesurés sont significativement plus élevés de plus de 1000 kg/ha pour le traitement « N » (Figure_22). Les lectures de chlorophylle sur la troisième feuille sous l'épi nous indiquent que la culture des parcelles saturées a été alimentée plus longtemps en azote que des autres traitements (Figure_16). La baisse d'azote des 3^{ième} feuilles pour le traitement N survient seulement après les lectures du 5 septembre, tandis que ces baisses d'N sont observées dès le 15 août pour les autres traitements

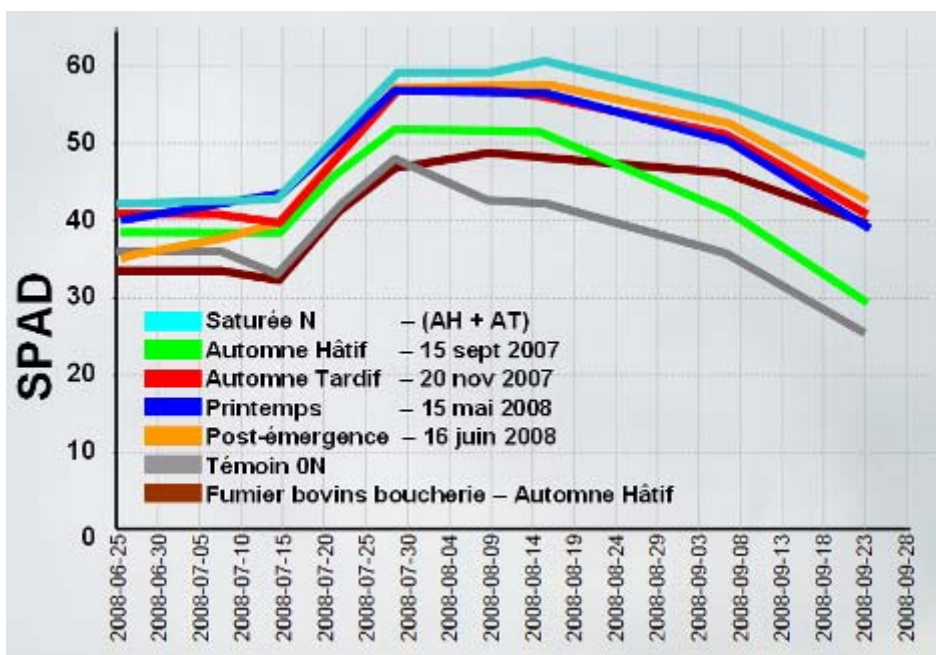


Figure 15 : Lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi pour les sept traitements appliqués pour les essais chez RAVA_2008.

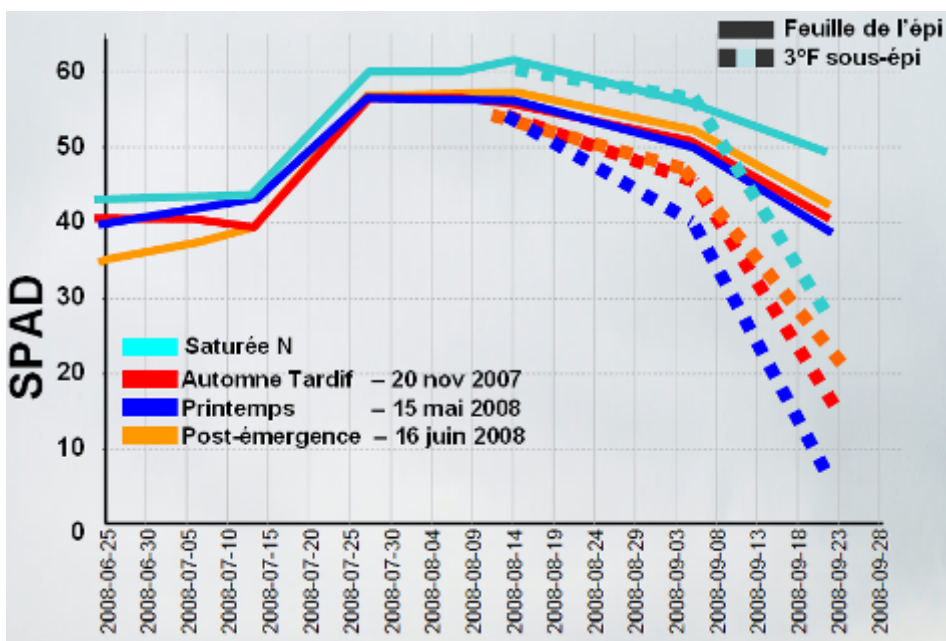
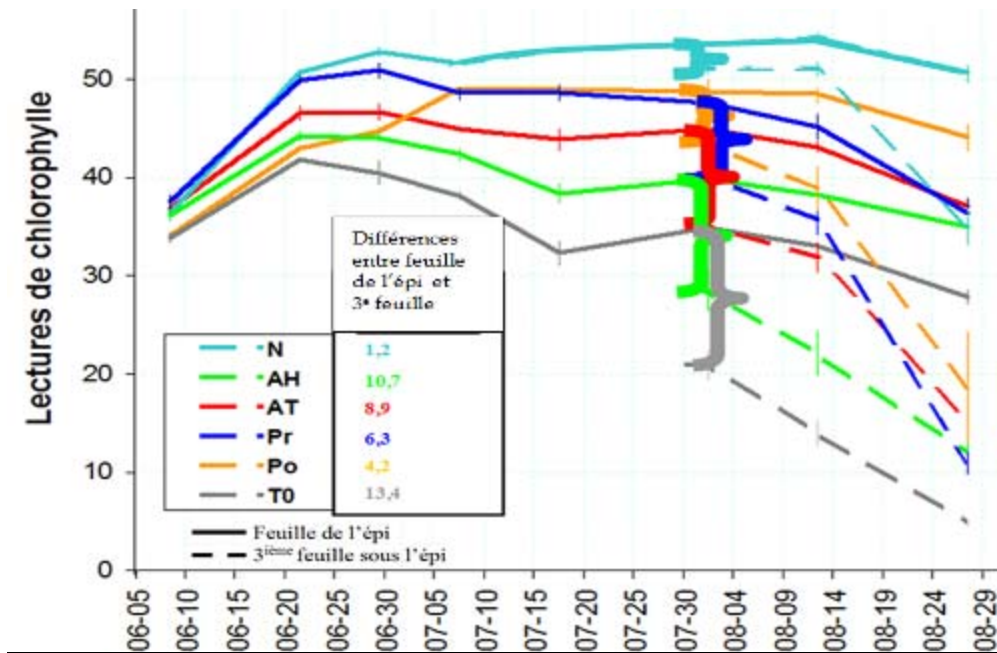


Figure 16 : Lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi (trait plein) et sur les troisièmes feuilles sous l'épi des mêmes plants (trait pointillé) pour les périodes d'épandage ayant reçu des doses d'azote similaires. Pour les essais chez RAVA_2008.

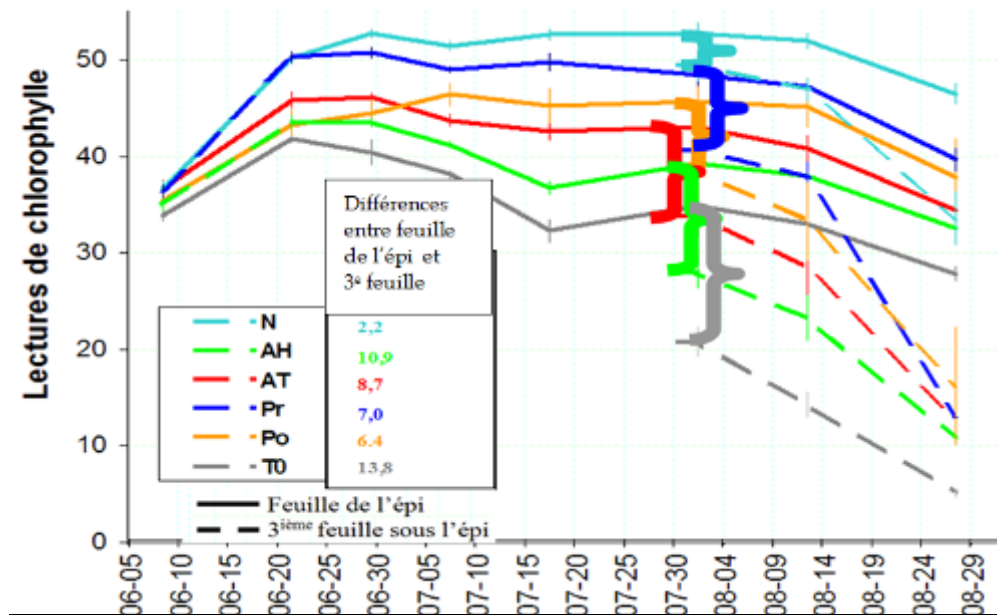
Les variations des lectures de chlorophylle entre les différentes périodes d'épandage, de l'essai au CÉROM (Figures_17 et 18), sont plus grandes que celles évaluées chez RAVA_2008 (Figure_15). Plusieurs facteurs peuvent être en cause, par exemple la culture sur billons annuelles (RAVA_2008) vs un labour conventionnel (CÉROM_2010). Toutefois il est intéressant de considérer que l'effet cumulatif de deux années consécutives de l'efficacité relative des engrais pourrait en être la cause réelle. La compilation des résultats pointe dans cette direction; toutefois, pour le valider, il faudrait poursuivre les essais sur ce site durant un autre cycle complet des rotations « blé/maïs/soya » avec le même protocole des différentes périodes d'épandage. La poursuite des essais permettrait d'évaluer les différentes régies d'épandage sur du long terme.

Les différences entre les lectures de chlorophylle des feuilles de l'épi et des 3^e feuilles sous l'épi varient selon la période d'épandage (Figures_17, 18). Les traitements « N » qui ont reçu les plus grandes quantités d'azote sont celles où ces différences de lecture sont moindres. Les traitements « T0 », qui n'ont reçu aucun azote présentent les différences les plus élevées.

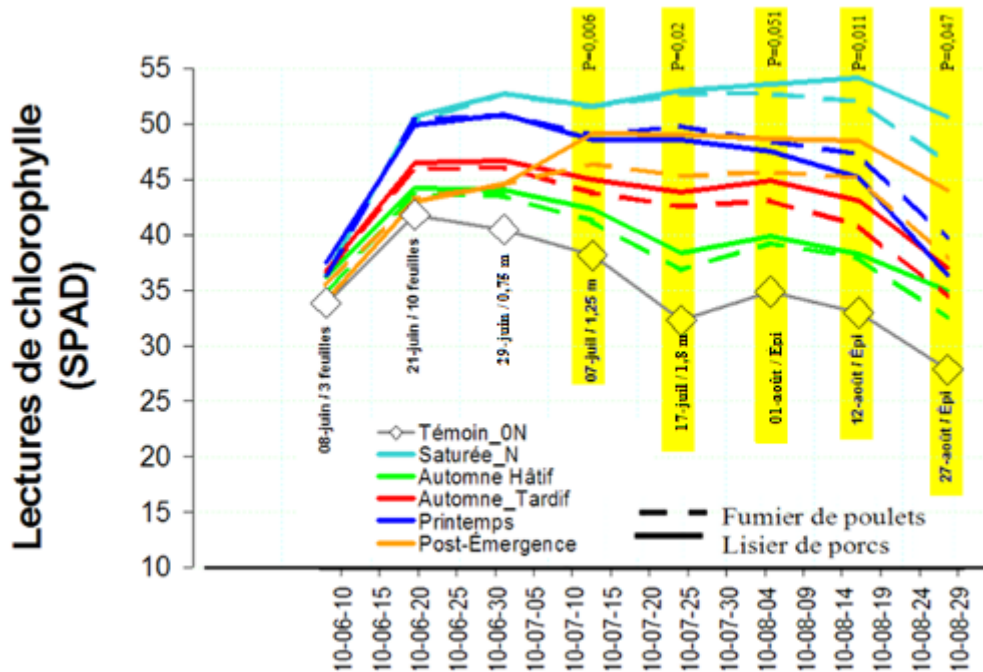
Un plan de maïs en manque d'azote remobilise l'azote de ses tissus à partir de la base du plan. Il est généralement reconnu que lorsque la troisième feuille sous l'épi est carencée en azote, que la culture manque d'azote et que les rendements seront affectés à la baisse. Selon ces observations, l'efficacité de l'azote des différents épandages se traduit selon la séquence décroissante suivante : N<Po<Pr<AT<AH<T0. Les deux types d'engrais organiques produisent la même séquence d'efficacité. Toutefois, en considérant les rendements, l'ordre d'efficacité se traduit différemment entre les deux types d'engrais organiques (Figures_24 et 25). Ce constat nous indique que les lectures de la chlorophylle à une date donnée, sont un indicateur faillible pour évaluer les rendements relatifs. Par contre les lectures de la chlorophylle demeurent sans contredit des signatures fidèles de la dynamique de l'azote du sol en lien avec la culture à un moment précis de la saison de culture.



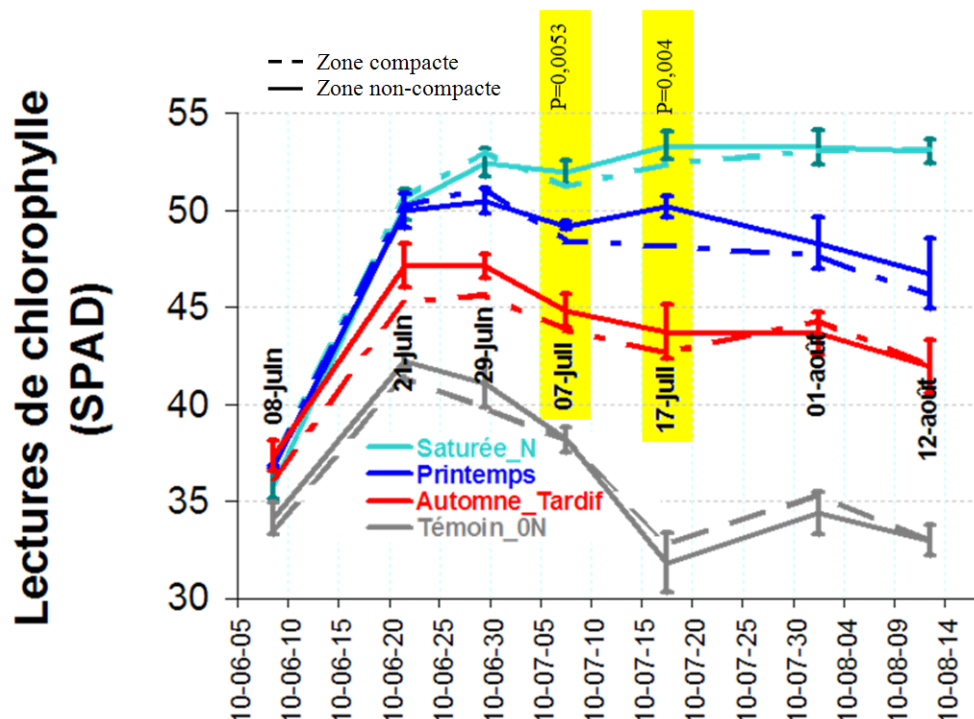
Figure_17: Différence entre les lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi et des 3^e feuilles sous l'épi pour les applications de *lisiers de porcs* selon les différentes dates d'épandage des essais au CÉROM_2010.



Figure_18: Différences entre les lectures de la chlorophylle des feuilles de l'épi et des 3^e feuilles sous l'épi pour les applications de *fumier de poulets* selon les différentes dates d'épandage des essais au CÉROM_2010.



Figure_19: Lectures de la chlorophylle de la dernière feuille émergée, ou celle de l'épi, pour les différents engrais organiques et les différentes dates d'épandage. Pour les essais au CÉROM_2010.



Figure_20: Moyennes des lectures de la chlorophylle de la feuille de l'épi, pour les deux types d'engrais organiques, pour les différentes zones compacte et non-compacte, selon les différentes dates d'épandage. Essais au CÉROM_2010.

Les lectures de chlorophylle des feuilles de l'épi rapportées à la figure 19, nous indiquent que les 2 types d'EO se sont comportés significativement de façon différente l'un par rapport à l'autre à partir du 7 juillet. Pour une même dose d'azote, l'efficacité du LP est plus élevée (que pour le FP), peu importe la période d'épandage – les épandages du printemps ne sont pas pris en compte, p.c.q. les parcelles de FP a reçu 20 kg de N /ha de plus que celles de LP. L'augmentation de l'efficacité du LP est plus apparente lorsqu'appliqué en post-émergence. Même à une dose d'azote moindre, 89 comparé à 109 Kg/ha pour le FP, le LP est plus efficace.

La compaction du sol

En raison de différentes contraintes techniques, les applications en Po n'ont pas fait l'objet de simulation de la compaction, et la compaction simulée sur les parcelles AH a été annulée par le labour.

Les lectures de chlorophylle des feuilles de l'épi rapportées à la figure 20, nous indiquent que les zones compactées ont fourni significativement moins d'azote à la culture pour les dates de lectures de chlorophylle du 7 et du 17 juillet. La compaction d'AT a limité l'absorption de l'azote dès le départ de la croissance, et durant toute la période végétative du maïs. Tandis que la compaction du Pr a conduit à une perte d'efficacité de l'azote à partir du début juillet jusqu'à la fin de la saison. Les parcelles saturées en N sont des composantes des applications de AT et Pr. La compaction y a été simulée à deux reprises, soit après chacune des périodes d'épandage. Les résultats indiquent que les excès d'N ont compensé et corrigé en partie les méfaits de la compaction.

Suite aux résultats non significatifs des analyses statistiques préliminaires pour les lectures de la chlorophylle du 1 et du 12 août, la décision de récolter le maïs sans discrimination entre les zones compactes et non-compactes a été prise, à tort. Nous ne disposons donc pas des résultats pour évaluer l'impact que les différentes efficacités de l'absorption de l'azote, dû à la compaction, a pu avoir sur la production de grain.

Les rendements

Toutes les applications d'engrais organiques augmentent significativement les rendements de maïs grain par rapport au « T0 » sans azote organique (Figures_21 à 25).

Les rendements sont significativement corrélés avec les doses d'azote appliquées au cours des deux dernières années avec un $R^2 = 0,81$ et $P < 0,0001$ (Figure_21). Les rendements présentés à la figure 21 résument les performances de l'azote des différents EO appliqués selon les différentes périodes d'épandage. Les applications d'AH ont moins bien performé pour les

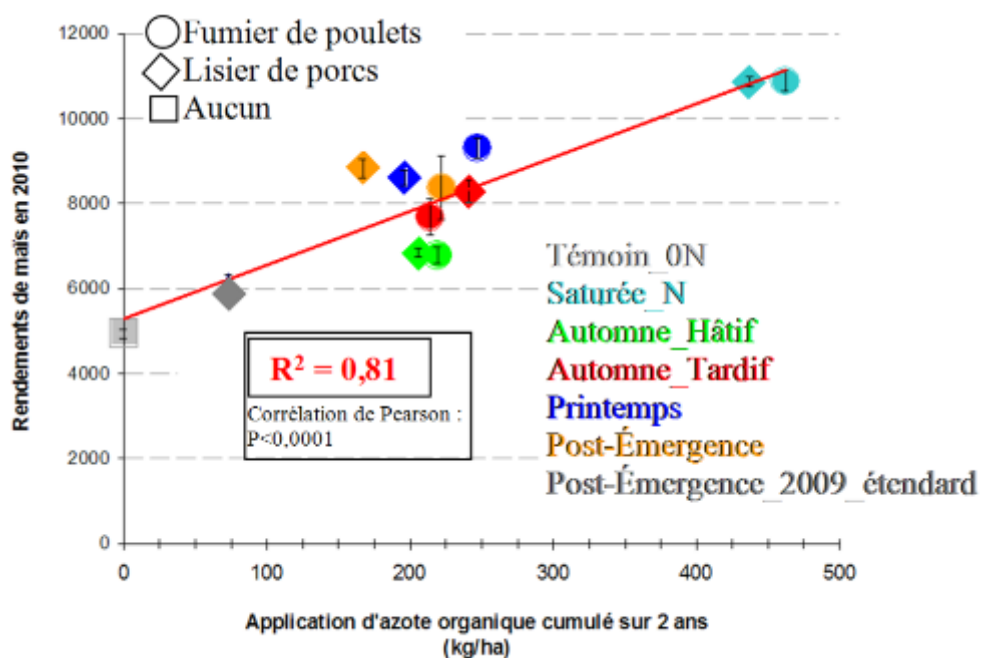
deux types d'engrais organiques, à cause (en partie) de leur enfouissement profond par le labour. Les applications de Pr se démarquent positivement pour les deux types d'engrais organiques; toutefois l'application du lisier de porcs en post-émergence est la pratique qui a permis la meilleure valorisation de l'azote. Avec une dose d'azote inférieure d'au moins 30kg/ha par rapport aux autres doses d'N provenant du lisier porcs, l'application en Po obtient le meilleur ratio « kg_grain / kg N_Total » (Tableau_5).

Tableau_5 : Gain de rendement par kg d'azote total épandus sous formes de lisiers de porcs et de fumier de poulets, selon les différentes périodes d'application.

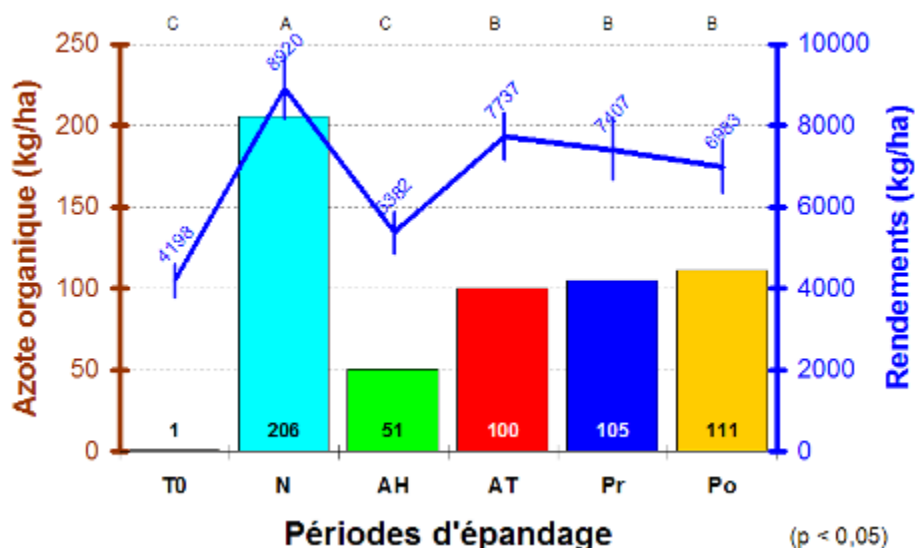
Essais au CÉROM_2010.

$$\left(\frac{\text{Rendements_obtenus} - \text{rendement}_{T0}}{\text{kg de N_total}} \right)$$

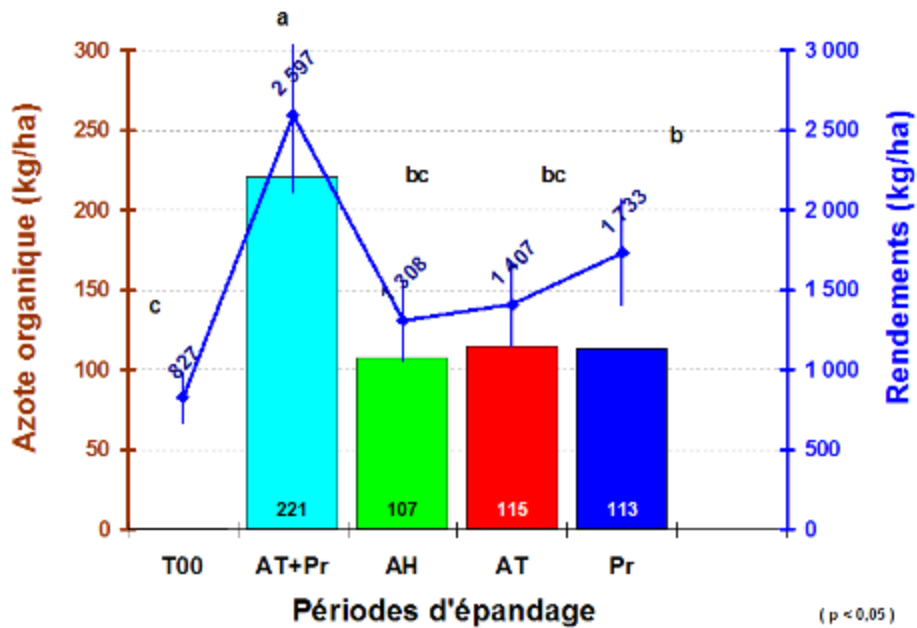
Engrais organiques	Saturée_N	Automne_Hâtif	Automne_Tardif	Printemps	Post-émergence
	(kg)				
Fumier de poulets	24	15	25	31	32
Lisier de porcs	24	15	26	30	44



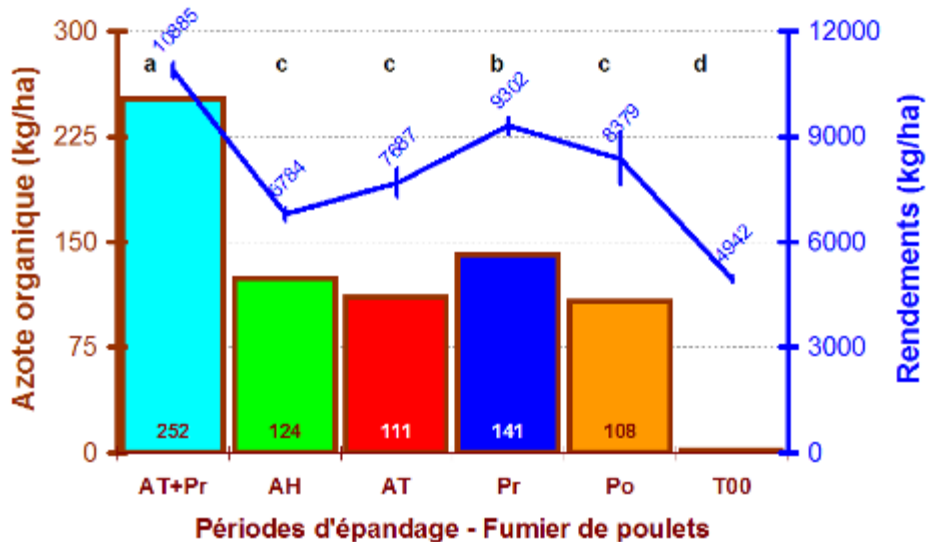
Figure_21: Corrélation entre les doses d'azote appliquées au cours de deux dernières années et les rendements de maïs grain obtenus en 2010 au CÉROM, selon les types d'engrais organiques et les différentes périodes d'épandage.



Figure_22 : Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais chez RAVA en 2008.



Figure_23: Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais chez DUBD en 2009.



Figure_24: Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du fumier de poulets, pour les essais 2010 au CÉROM.

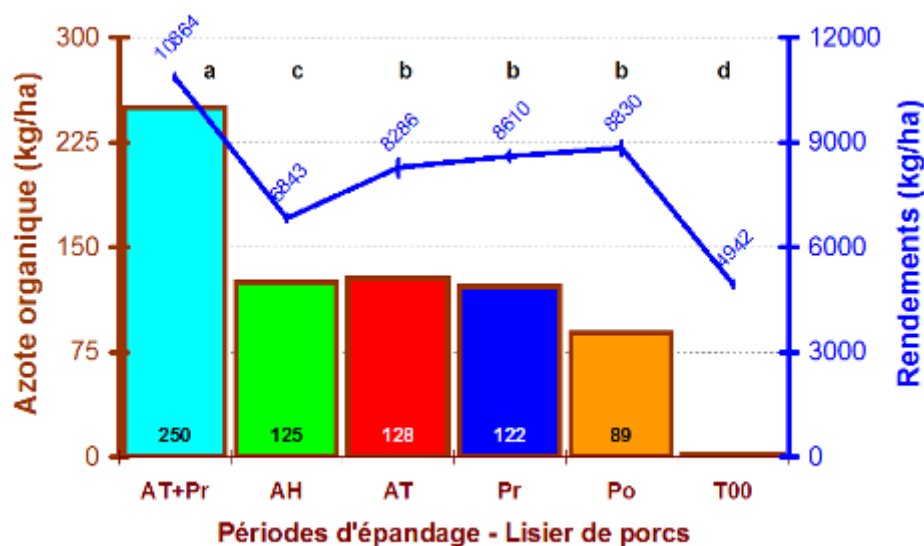


Figure 25: Rendements de maïs selon les différentes dates d'épandage et les doses d'azote appliquées provenant du lisier de porcs, pour les essais 2010 au CÉROM.

Conclusion

Plusieurs faits sont venus contrecarrer la bonne marche de ce projet. Le transfert des essais à la station de recherche du CÉROM a permis d'apporter de la précision dans la gestion des engrais organiques. Les épandages de deux types d'engrais organiques, du lisier de porcs et du fumier de poulets, sur le même site d'essais, révèlent les particularités liées aux caractéristiques des engrais organiques, d'où l'importance de bien les caractériser avant leur valorisation. Les résultats provenant des épandages du fumier de bovins de boucheries nous révèlent les grandes disparités dans l'efficacité de l'azote liées aux types d'engrais organiques.

L'efficacité de l'azote est supérieure pour les applications d'automne tardif comparé à celle de l'automne hâtif. Les engrais organiques enfouis profondément à l'automne ont perdu de leur efficacité en comparaison avec ceux enfouis superficiellement à l'automne tardif, au printemps, et en post-émergence.

Les épandages du printemps ont bien performé pour les deux types d'engrais organiques, toutefois, en situation réelle il faut conjuguer avec une possible compaction du sol lors des épandages. Si la compaction peut être évitée lors des épandages du lisier de porcs en post-émergence, les résultats y ont démontré une excellente valorisation de l'azote.

La synchronisation de la libération de l'azote est donc liée aux types d'engrais organiques, à la période d'épandage, aux conditions climatiques, ainsi qu'aux pratiques culturales et à la gestion des sols.

La poursuite du projet

Le site d'essais sera ensemencé en soya pour la saison 2011. Un seul traitement recevra une application de lisier de porcs. Les suivis agronomiques de la culture par des lectures répétées de la chlorophylle, et l'évaluation des rendements, permettra de vérifier l'hypothèse suivante :

« Les rendements du soya sont plus élevés sur des sols ayant une fertilité élevée en comparaison à une application annuelle de fertilisant ».

Bibliographie

- CANTIN, J. et J. Whalen. 2006. *The environmental risks linked to different manure application periods, (literature review) et Application de fumier de bovins laitiers selon trois périodes d'épandage dans la production de maïs grain*. Mémoire de maîtrise. Department of Natural Resource Sciences, McGill University.
- CANTIN, J. 2010. *Impacts des périodes d'épandage de fumier sur la culture du blé*. Rapport final, mars 2010. <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/default.aspx>
- COMFORT, S.D., P.P. MOTAVALLI, D.A. KELLING, and J.C. CONVERSE. 1987. *Soil profile N, P, and K changes from injected liquid dairy manure or broadcast fertilizer*. Trans. ASAE 30:1364-1369.
- CÔTÉ, D., A. MICHAUD, T.S. TRAN, and C. BERNARD. 1999. *Slurry sidedressing and topdressing can improve soil and water quality in the Lake Champlain basin*. Water science and application. American Geophysical Union. 1:225-238
- CÔTÉ, D., M. GIROUX, A. N'DAYEGAMIYE, and S.P. GUERTIN. 2002. *Période d'épandage des engrais de ferme et risque environnemental*, IRDA, 7 p.
- FLEMING, R., and H. FRASER. 2000. *Impacts of winter spreading of manure on water quality*. Literature review. Ridgetown College – University of Guelph. p.p. 3-11
- FORCELLA, FRANK and S.L. WEYERS. 2007. *Mid-Continent fall temperatures at the 10-cm soil depth*. Agron. J. 99:862-866.
- GIROUX, M., A.R. MICHAUD, C. CÔTÉ, N. ZIASDI, S. GUERTIN, and S. QUESSY. 2003. *Stratégies de réduction à la ferme des risques environnementaux liés à la fertilisation avec des engrais de ferme*. Colloque en agroenvironnement. IRDA, pp. 73-99.
- HAVLIN, J.L., J.D., S.L. TISDALE, and W.L. NELSON. 1999. *Soil fertility and fertilizers*. 6th ed. Macmillan Publishing Co. New York, NY. USA.
- JOKELA, W.E., and G.W. RANDALL. 1997. *Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn*. Soil Sci. Soc. Am. J. 661:1695-1703.
- LACHANCE, S., P.A. BLAIS, and C. KINSLEY. 2001. *Nitrogen losses in surface and drainage waters from spring and late manure applications on level clay soils*. Programme national de conservation de l'eau et du sol, Rapport final, 38 p.
- N'DAYEGAMIYE, A., M. GIROUX, and R. ROYER. 2004. *Épandages d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetières : coefficients d'efficacité et nitrates dans le sol*. Agrosol. 15:97-106.
- OMAFRA, 2003. *Soil Fertility Handbook*. Publication 611.
- ORDRE DES AGRONOMES DU QUÉBEC (OAQ). 2006. *Épandage post-récolte des engrais organiques et risques environnementaux reliés aux pertes d'azote*. Revue de littérature.

- PATNI, N.K., R. TOXOPEUS, A.D. TENNANT, and F.R. HORE. 1984. *Bacterial quality of tile drainage water from manured and fertilized cropland*. Water Res. 18:127-132
- PHILLIPS, P.A., J.L.B. CULLEY, F.R. HORE, and N.K. PATNI. 1981. *Pollution potential and corn yields from selected rates and timing of liquid manure applications*. ASAE Paper 79-2117.
- POIRIER, V. and M. GIROUX. 2004. Applications d'engrais de ferme et de boues mixtes de papetières en période automnale et printanière : valeur fertilisante et risques environnementaux. Revue de littérature. IRDA.
- RANDALL, G.W., M.A. SCHMITT, and J.P. SCHMIDT. 1999. *Corn production as affected by time and rate of manure and nitrapyrin*. J. Prod. Agric. 12 :317-323.
- RANDALL, G.W., A. VETSCH, and J.R. HUFFMAN. 2003. *Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by time of nitrogen application and nitrapyrin*. Agron. J. 95 :1213-1219.
- REA (Règlement sur les exploitations agricoles). 2004 (c. Q-2, r.11.1). Gouvernement du Québec. 26 p.
- ROCHETTE, P., D.A. ANGERS, M.H. MARTIN, N. BERTRAND and D. CÔTÉ. 2004. *Carbon dioxide and nitrous oxide emissions following fall and spring applications of pig slurry to an agricultural soil*. Sci. Soc. Am J. 68:1410-1420.
- SIMARD, R.R., J. ZIZKA, and C.R. DE KIMPE. 1990. *Le prélèvement du K par la luzerne (Medicago sativa L.) et sa dynamique dans 130 sols du Québec*. Can. J. Soil Sci. 70 :379-393.
- SWEETEN, J.M. 1998. *Cattle feedlot manure and wastewater management practices*. pp. 126-153. In J.L. Hatfield et B.A. Stewart. Farm Manures Congresses. (ed.) Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource.