

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

06-BIO-07

Rapport final, mars 2010

Jean Cantin, M.Sc., agronome
Pour ConseilSol



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

Québec



Programme de soutien au
développement de l'agriculture biologique

Table des matières

Résumé	1
Introduction	3
Mise en contexte	3
Méthodologie	5
État des connaissances	7
Caractérisations des sites d'essais	10
Résultats généraux pour les saisons de cultures de 2007 et 2008	11
Les rendements	11
La qualité des récoltes	12
Les lectures de chlorophylle.....	12
Des faits marquants	15
La structure du sol	15
L'influence des conditions climatiques	16
Des points importants	28
Les variations des doses d'azote appliquées.....	28
Des cas décisifs	30
Photos aériennes	34
Résultats pour la saison de culture 2009	35
Les rendements	37
Les taux de protéines.....	39
Les poids spécifiques.....	39
La suite	41
Conclusion	42
Bibliographie	43

Liste des tableaux et figures

Tableau_1 :	Résumé des comparaisons de performances de la culture du blé pour les différentes périodes d'épandage du fumier de poulets appliqué sur des terres en régie biologique.....	2
Tableau_2 :	Caractéristiques des sites expérimentaux	4
Figure_1 :	Dispositif des parcelles perpendiculaire au drainage souterrain du champ	5
Figure_2 :	Technique de calibration des doses d'épandage à l'aide d'un plastique	6
Figure_3 :	Suivi agronomique de différents paramètres de la culture	6
Figure_4 :	Comparaison des stades du développement pour les principales grandes cultures du Québec.....	8
Figure_5 :	Facteurs impliqués dans la perte d'azote.....	9
Figure_6 :	Textures de sol des sites d'essais, et leur contenu en azote total dans l'horizon de surface	10
Figure_7 :	Rendements moyens en blé pour 19 sites d'essais (en arrière-plan), et 14 sites avec fumiers de poulets (en avant plan). Le nombre de parcelles est indiqué au bas des histogrammes respectivement. La zone transparente au sommet des histogrammes correspond à l'écart-type.	11
Figure_8 :	Rendements moyens en blé pour 5 sites d'essais avec un autre engrais organique que du fumier de poulets.	11
Figure_9 :	Résultats d'analyse des niveaux de protéines et du poids spécifiques pour les essais avec fumier de poulets.	12
Figure_10 :	Apports d'azote total pour l'essai « CHAM_07 » pour des fumiers de poulets (P_) et de vaches (V_).	13
Figure_11 :	Résultats des lectures de la chlorophylle pour différentes doses d'applications (droite) et différentes dates d'épandage (gauche). .	13
Figure_12 :	Le stade de croissance, ainsi que le développement des feuilles doivent être considérés lors de l'interprétation des lectures de la chlorophylle. Une même lecture relative d'une valeur de 36 n'a pas toujours la même signification.....	14
Figure_13 :	Courbe des résultats de lectures de la chlorophylle au cours de la saison de croissance en lien avec les rendements (encadré). Le haut niveau de la chlorophylle des applications du printemps n'est pas en lien avec les faibles rendements obtenus.....	14
Figure_14 :	Profils de sol 2007, sur une profondeur de 0-30 cm avec les rendements correspondants. La structure du sol s'améliore de gauche à droite ainsi que les rendements.	15
Figure_15 :	Profils de sol 2008, sur une profondeur de 0-30 cm avec les rendements correspondants. Les rendements s'améliorent de gauche à droite.	16
Figure_16 :	Précipitations journalières de l'automne 2006 à l'été 2008.....	16

Figure_17 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez CHAM_2007 (Cas #1).....	17
Figure_18 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez LARM_2007 (Cas #2).....	18
Figure_19 :	Conditions climatiques avant et après l'épandage de lisier de porcs en post-émergence du blé. Essais chez LARM_2007 (Cas #2).....	18
Figure_20 :	Évaluation des rendements pour les essais chez LAMR_2007 (Cas #2).....	19
Figure_21 :	Augmentation du rendement en blé suite à un épandage de lisier de maternité de porcs en post-émergence du blé, le 29 mai, suivi d'une faible pluie.	19
Figure_22 :	Conditions climatiques avant et après l'épandage de lisier de porcs en post-émergence du blé. Essais chez GAUM_2008 (Cas #3).....	20
Figure_23 :	Quantités d'azote organiques apportées par un fumier mixe (Mx_ : Poulets + Porcs + vaches), et un fumier de poulets (P_) selon différentes dates d'épandage. Les quantités d'azote total (en rouge) sont par la suite évaluées théoriquement selon différents scénarios d'efficacité en fonction des rapports C/N-organique. Essais chez GAUM_2008 (Cas #3).	20
Figure_24 :	Lectures de chlorophylle pour les essais chez GAUM_2008 (Cas #3).....	21
Figure_25 :	Rendements obtenus selon les différentes périodes d'épandage pour les essais chez GAUM_2008 (Cas #3).....	21
Figure_26 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4).....	22
Figure_27 :	Lectures de chlorophylle pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4), et doses d'azote organique appliquées (encadré) selon les différentes périodes d'épandage.	22
Figure_28 :	Rendements pour deux variétés de blé pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4).	23
Figure_29 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez GODG_2008 (Cas #5).....	23
Figure_30 :	Rendements pour les essais chez GODG_2008 (Cas #5).....	24
Figure_31 :	Lectures de chlorophylle pour les essais chez GODG_2008 (Cas #3).....	24
Figure_32 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez COUM_2008 (Cas #6).....	25
Figure_33 :	Quantités d'azote organiques apportées par un fumier de poulets (P_) selon deux doses d'application, et différentes dates d'épandage. Les quantités d'azote total (en rouge) sont par la suite évaluées théoriquement selon différents scénarios d'efficacité en fonction de la densité des fumiers épandus. Essais chez COUM_2008 (Cas #6).	25
Figure_34 :	Rendements pour les essais chez COUM_2008 (Cas #6).....	26

Figure_35 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2008 (Cas #7).	26
Figure_36 :	Rendements (1), et lectures de la chlorophylle (2) selon les différentes dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2008 (Cas #7).	27
Figure_37 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez LAMM_2007 (Cas #8).	27
Figure_38 :	Rendements selon les différentes dates d'épandage pour les essais chez LAMM_2007 (Cas #8).	28
Figure_39 :	Corrélation entre la densité des fumiers de poulets à griller, et les résultats de la matière sèche du rapport d'analyse.	28
Figure_40 :	Rendements obtenus suite à l'application de trois doses de fumier de poulets (1=petite, 2 moyenne, et 3 grosse dose) et une dose moyenne de fumier de vaches laitières selon trois différentes périodes d'épandage.....	29
Figure_41 :	Scénario économique pour une entreprise de 100 ha de blé ayant 300 tonnes de fumier de poulets à épandre.....	30
Figure_42 :	Doses d'azote organique appliquées pour le site LAMR (Cas #2) selon les différentes périodes d'épandage.	31
Figure_43 :	Doses d'azote organique appliquées pour le site GODG (Cas #5) selon les différentes périodes d'épandage	31
Figure_44 :	Doses d'azote organique appliquées pour le site DUBD (Cas #7) selon les différentes périodes d'épandage (P_ = Poulets).	32
Figure_45 :	Doses d'azote organique (fumier de poulets) appliquées pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.	32
Figure_46 :	Rendements pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.	33
Figure_47 :	Résultats des lectures de la chlorophylle pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.	33
Figure_48 :	Photo aérienne du site CHAM_2008.	34
Figure_49 :	Épandage à la main des engrais organiques suivi d'un enfouissement superficiel et d'une simulation de la compaction sur une section de chacune des parcelles.	35
Figure_50 :	Quantités d'azote total, sous forme N-NH ₄ , et efficace, appliquées avec les deux types d'engrais organiques.....	36
Figure_51 :	Dispositif expérimental des essais du site du CÉROM en 2009 ..	36
Figure_52 :	Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais 2009.....	37
Figure_53 :	Rendements et doses d'azote appliquées pour les différentes périodes d'épandage.	38
Figure_54 :	Rendements et doses d'azote moyens pour les deux engrais organiques confondus.....	38
Figure_55 :	Délais de croissance entre les différents traitements lors de l'épiaison du blé (voir légende Figure_51).	39

Figure_56 : Taux de protéines obtenus selon les niveaux d'azote appliqués à différentes dates d'épandage.....	40
Figure_57 : Poids spécifiques obtenus selon les niveaux d'azote appliqués à différentes dates d'épandage. Aucune différence significative n'a été perçue par les analyses statistiques.	40

Résumé

La production de blé sous régie biologique nécessite d'importants apports d'azote organique. Une rotation de culture avec des légumineuses fixatrices d'azote, ou avec un semis d'engrais verts, convient bien à cette production. Des applications de fumiers et de lisiers d'élevage sont également recommandées.

Lorsque la culture du soya jumelé à un épandage d'engrais organique (**EO**) précède l'implantation du blé, la récolte du soya doit être retardée après les gelées mortelles de l'automne pour tuer les mauvaises herbes encore turgescentes dont la sève risque de tacher et de déclasser les fèves de soya destinées à l'alimentation humaine. Dans ces cas, selon la réglementation en vigueur au Québec, les agriculteurs doivent avoir recours à une dérogation appuyée par un agronome pour épandre légalement leurs EO après le 1^{er} octobre et ce, de manière récurrente à chaque année. Le but de ce projet visait donc l'acquisition d'une expertise de pointe sur la gestion des EO appliqués à différentes dates durant l'année soit : l'automne hâtif (**AH**), l'automne tardif (**AT**), au printemps (**Pr**), et en post-émergence (**Po**).

La littérature scientifique sur la fertilisation des grandes cultures, se réfère souvent à la nature des sols et aux conditions climatiques pour orienter la compréhension des résultats sur l'efficacité des apports d'azote aux cultures. Concernant la nature du sol, Havlin *et al.* (1999) rapporte que certaines argiles composées principalement de vermiculite (comme celles du Québec) et d'illite peuvent, indépendamment de l'activité biologique du sol, fixer d'importantes quantités de $\text{NH}_4\text{-N}$ entre leurs feuillets d'argile (immobilisation abiotique), ce qui peut en réduire les pertes par lessivage. 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 résultats de recherches de Rochette *et al.* (2004) confirment ces effets significatifs de la température sur la minéralisation de l'azote et des pertes dans l'environnement.

Les résultats obtenus pour une vingtaine de sites réalisés sur un peu moins de 10 entreprises agricoles ayant des sols plutôt argileux, et au CÉROM, démontrent clairement que l'efficacité de l'azote des EO, principalement des fumiers de poulets à griller, est largement conséquente aux aléas des conditions climatiques et à la structure du sol. Par exemple, nous avons observé que la présence ou l'absence de précipitations suivant les applications d'EO en post-émergence avait contribué à un succès ou un échec éclatant. Dans un autre cas, un printemps sec a contribué à favoriser une application d'automne bien enfouie avec un labour comparé à une application de Pr. Dans un 3^{ième} cas, de mauvaises conditions de sol lors de l'épandage ont rendu inefficace tout l'azote appliqué.

Parmi les multiples comparables entre les différentes périodes d'épandage, les applications d'automne tardif se démarquent favorablement.

Tableau_1 : Résumé des comparaisons de performances de la culture du blé pour les différentes périodes d'épandage du fumier de poulets appliqué sur des terres en régie biologique.

	Périodes d'épandage favorisées par les conditions rencontrées	Comparées à
LAMR	AT	AH
GAUM	AH	AT, Pr
COUM	AT	Pr
GODG	AT	AH
DUBD	AT	AH, Pr
LAMM	AT	Pr
CÉROM	Pr	AH, AT, Po

Conclusion

Selon les résultats obtenus, la condition du sol et les conditions climatiques qui prévalent lors des épandages sont les facteurs prédominants à considérer pour optimiser l'efficacité de l'azote des engrais organiques.

L'analyse des résultats démontre que pour la planification des épandages de fumiers de poulets sur des sols argileux en production de blé biologique, il faut se préoccuper davantage des conditions climatiques lors des épandages et des risques possibles de compaction du sol, plutôt que d'une quelconque date d'épandage

Introduction

Dans le contexte actuel de la globalisation des marchés où toutes les productions tendent à rencontrer une compétitivité sans cesse accrue, il est opportun de développer des niches de marchés où, à valeur égale, le consommateur choisira votre produit au détriment de celui de votre compétiteur. Les valeurs telles que "produit local", "produit sans intrant", "produit biologique", "produit respectueux de l'environnement", sont des exemples de créneaux qui se démarquent et qui véhiculent des valeurs chères aux consommateurs préoccupés par leur "mieux-vivre". Ce contexte jumelé à la crise énergétique appréhendée, et conséquemment à l'inflation des prix des intrants, nous porte à croire qu'une agriculture moins énergivore et produite localement sera un des atouts à considérer.

Mise en contexte

La demande pour des produits biologiques est en croissance depuis plusieurs années, et la production du Québec ne comble pas cette demande pour les grains issus des grandes cultures. Le principal facteur limitant pour la production de blé sous une régie biologique est l'azote. Les cultures exigeantes en fertilisants, telles le maïs et le blé, doivent trouver leur source d'approvisionnement en azote à partir des engrais organiques (**EO**) tels que les fumiers de ferme et les engrais verts associés à de bonnes rotations de cultures. Une bonne gestion des EO devient très rapidement une préoccupation de premier ordre pour ces grandes cultures.

Les producteurs biologiques sont soumis à un cahier de charges très strict pour maintenir annuellement leur certification. L'une des exigences impose une durée de 90 jours entre la période d'épandage des EO et la récolte du blé panifiable. La saison de croissance du blé étant de courte durée, les applications de post-levée du blé sont par conséquent éliminées. Les applications faites au printemps soulèvent, quant à elle, la possible compaction du sol sur les terres argileuses. C'est donc en automne que les producteurs se voient contraints d'appliquer leur EO.

Pour différentes raisons de régie, la culture du blé biologique s'insère après le soya dans la rotation de cultures, permettant ainsi de mettre en valeur les reliquats d'azote laissés par le soya (Tableau_2). La qualité d'un soya bio, sans taches sur les fèves, est stratégiquement récoltée après la destruction des mauvaises herbes par les gelées automnales, ce qui nous amène régulièrement après le 1er octobre pour faire les épandages. Or, depuis 2004, le Règlement sur les exploitations agricoles (REA 2004) interdit d'appliquer, de manière récurrente, des EO après la date du premier octobre, c.à.d. qu'il est possible de le faire exceptionnellement pour une année, mais ne peut être planifiée de la sorte sur plusieurs années consécutives. Cette situation met les producteurs de blé biologique, ou sans intrant, dans une situation légalement vulnérable.

Tableau 2 : Caractéristiques des sites expérimentaux.

Sites	Texture de sol	Travail primaire du sol	Rotation des cultures	Cultivar de blé	Historique d'application de fumiers/lisiers	Type d'engrais organiques de l'essai
CHAM 2007	Argile	Sous-soleuse	Maïs-grain / soya	Torka	Aucun	Fumier de poulets et de bovins laitiers
COUM 2007	Argile	Labour	Blé / blé / soya	McKenzie et Barrie	Fumier de coqs, 2 fois 9t/ha	Fumier de poulets
LAMM 2007	Loam-argileux	Labour	Soya / prairie / soya	McKenzie	Lisier de bovins laitiers, 44 m ³ /ha	Fumier de poulets
LAMR 2007	Loam-argileux	Chisel	Maïs-grain /soya	Brio	Lisier de porcs, 2 fois 32 m ³ /ha	Lisier de porcs
CHAM 2008	Argile	Chisel	Soya	Barrie	Oui	Fumier de poulets et de bovins laitiers
COUM 2008	Argile	Labour	Soya / blé / soya	Barrie (?)	Oui	Fumier de poulets
LAMM 2008	Loam-argileux	Labour	Soya	Barrie (?)	Oui	Fumier de poulets
DUBD 2008	Loam-argileux	Chisel	Soya	Brio	Oui	Fumier de poulets
GAUM 2008	Argile		Soya	Barrie	Oui	Fumier de poulets et fumier mixte, deux doses
GODG 2008	Loam-argileux	Chisel	Soya / blé / engrais vert	McKenzie	Oui	Fumier de dindes
CÉROM 2009	Argile	Chisel	sarrazin	Mckenzie	Aucun	Fumier de poulets
CÉROM 2009	Argile	Chisel	sarrazin	Mckenzie	Aucun	Lisier de porcs

Le présent projet avait pour but d'évaluer l'efficacité des EO appliqués selon différentes dates d'épandage dans la culture du blé. Dans ce projet, il est considéré que :

« Pour une même quantité d'azote appliquée, si une date d'épandage quelconque produit plus de rendement, cela signifie que la culture a prélevé plus d'azote, et qu'il y a moins de pertes dans l'environnement ».

Le projet a été financé par le Programme de soutien et de développement de l'agriculture biologique (PSDAB). L'installation des parcelles a débuté à l'automne 2006, et a pris fin après la récolte de l'automne 2009. Les résultats présentés dans ce rapport regroupent tous les essais qui ont été faits chez les agriculteurs durant les saisons de croissances de 2007 et 2008, ainsi que ceux de 2009 réalisés à la station de recherche du CÉROM.

Méthodologie

Un protocole de recherche simple, disposé en trois blocs complets aléatoires fut installé perpendiculairement au système de drainage des champs (Figure_1) sur chacune des fermes. Les dimensions des parcelles étaient suffisamment grandes pour permettre les travaux des champs et les applications des différents traitements avec les équipements aratoires appartenant aux agriculteurs.



Figure 1: Dispositif des parcelles perpendiculaire au drainage souterrain du champ.

Les différents traitements et périodes d'épandage visés 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 (Figure_2), et un échantillon d'EO a été prélevé à chacun des épandages pour une caractérisation complète des propriétés physiques et du contenu en éléments fertilisants.



Figure 2 : Calibration des doses d'épandage à l'aide d'un plastique étendu sous le passage de l'épandeur.

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 blé biologique. L'incorporation au sol des EO fut faite dans les 24 heures suivant chaque épandage, et un suivi de plusieurs paramètres agronomiques (Figure_3) a été assuré par un agronome jusqu'à la récolte. Les analyses statistiques ont été faites selon les procédures du modèle général linéaire du système SAS (Proc GLM).



Figure 3 : Suivi agronomique de différents paramètres de la culture.

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).

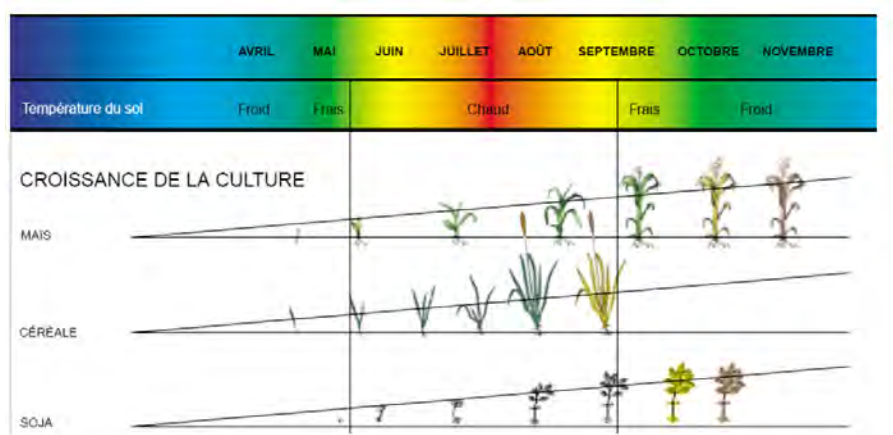


Figure 4 : Comparaison des stades du développement pour les principales grandes cultures du Québec.

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'impacts 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 (Figure_5). Une connaissance approfondie du cycle de l'azote est donc importante pour une interprétation agronomique adéquate des résultats d'essais.



Figure 5 : Facteurs impliqués dans la perte d'azote.

Chaque entreprise possède de manière intrinsèque des points forts et d'autres plus faibles. Similairement à un jeu de carte, certains atouts sont gagnants et d'autres pas. Certaines cartes peuvent être changées, d'autres plus difficilement, et d'autres encore, pas du tout. Le type de sol est l'une de ces cartes permanentes inchangeables avec lesquelles chaque entreprise doit conjuguer.

Vous êtes donc conviés dans ce rapport à considérer des résultats d'essais de fertilisation sur des cultures de blé réalisés pour la plupart avec des fumiers

solides de poulets, sur des terres sans pente, et fortement argileuses en production biologique.

Caractérisations des sites d'essais

Un total de sept différentes entreprises agricoles ont participé aux projets au cours des deux dernières années (Tableau_1). Les résultats d'**analyses granulométriques** démontrent que les textures du sol d'une grande majorité des fermes participantes se classent parmi les textures argileuses passant de « loam argileux » à « argile » (Figure_6). Ces textures représentent bien les sols de la grande plaine de la région de Montréal.

Les niveaux d'**azote total** varient considérablement entre certaines fermes ayant des sols dont les textures sont relativement semblables (Figure_6 : DUC / COU / GOD). Sachant que le sol minéralise un très faible pourcentage de son azote à chaque saison, il demeure tout de même un fournisseur important d'azote à la culture. Nos interventions d'apport d'azote sous forme d'EO sont relativement minimales par rapport à tout le potentiel que peut livrer un sol sous de bonnes conditions. La moindre altération du potentiel de minéralisation du sol par la compaction, ou autre, peut donc provoquer une baisse importante de la fourniture d'azote.

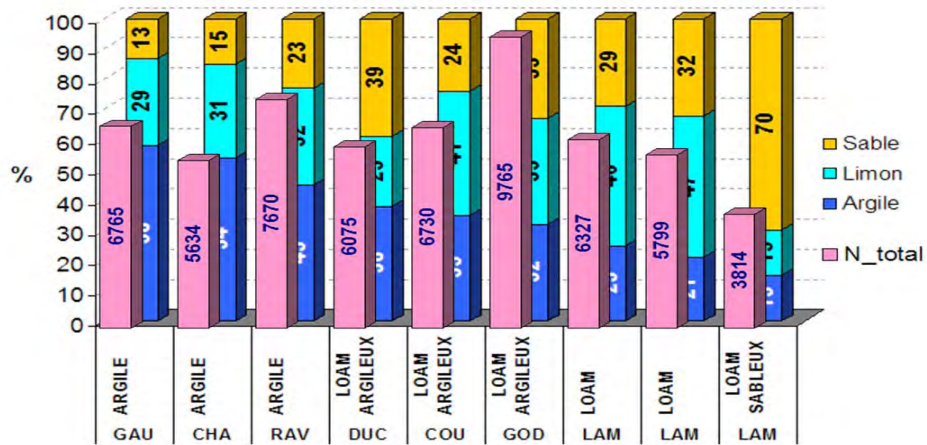


Figure 6 : Textures de sol des sites d'essais et leur contenu en azote total (kg/ha) dans l'horizon de surface (0-20 cm).

Parmi les EO à l'essai, les fumiers de poulets à griller (FP) ont dominé l'ensemble des fumiers et lisiers. Sur un total de 19 essais compilés et validés (Figure_7), on compte 14 FP dont les traitements les plus fréquents furent les applications d'AT et de Pr pour un total de 42 et 44 parcelles respectivement. Les 5 autres EO utilisés (Figure_8) sont des fumiers solides de vaches laitières, un fumier de dindes, un fumier mixte (vaches + poulets + lisier de porc), et un lisier de porcs.

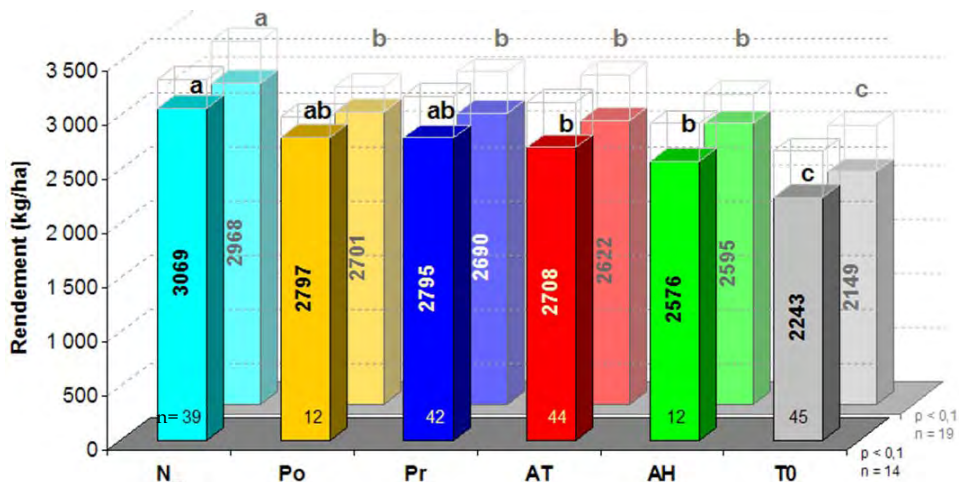


Figure 7 : Rendements moyens en blé pour 19 sites d'essais (en arrière-plan), dont 14 sites avec fumiers de poulets (en avant plan). Le nombre de parcelles est indiqué au bas des histogrammes respectifs. La zone transparente au sommet des histogrammes correspond à l'amplitude des écarts types.

Résultats généraux pour les saisons de cultures de 2007 et 2008

Les rendements

Pour l'ensemble des essais, les évaluations de **rendements** en blé ne permettent pas de faire une quelconque discrimination entre les différentes périodes d'épandage (Figure_7), et ce, pour tout les types d'EO à l'essai. Seuls les rendements des T0 sans EO ont donné des résultats significativement plus bas, et les parcelles N (saturées en azote), des résultats significativement plus élevés.

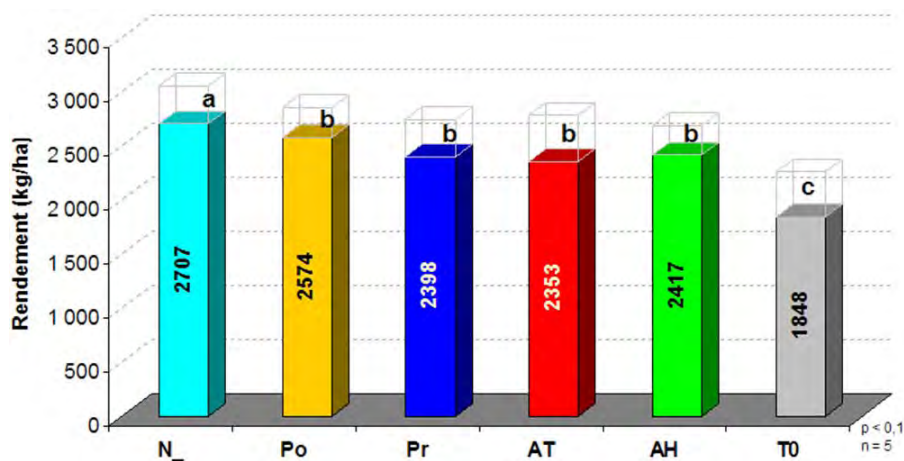


Figure 8 : Rendements moyens en blé pour 5 sites d'essais avec un autre engrais organique que du fumier de poulets.

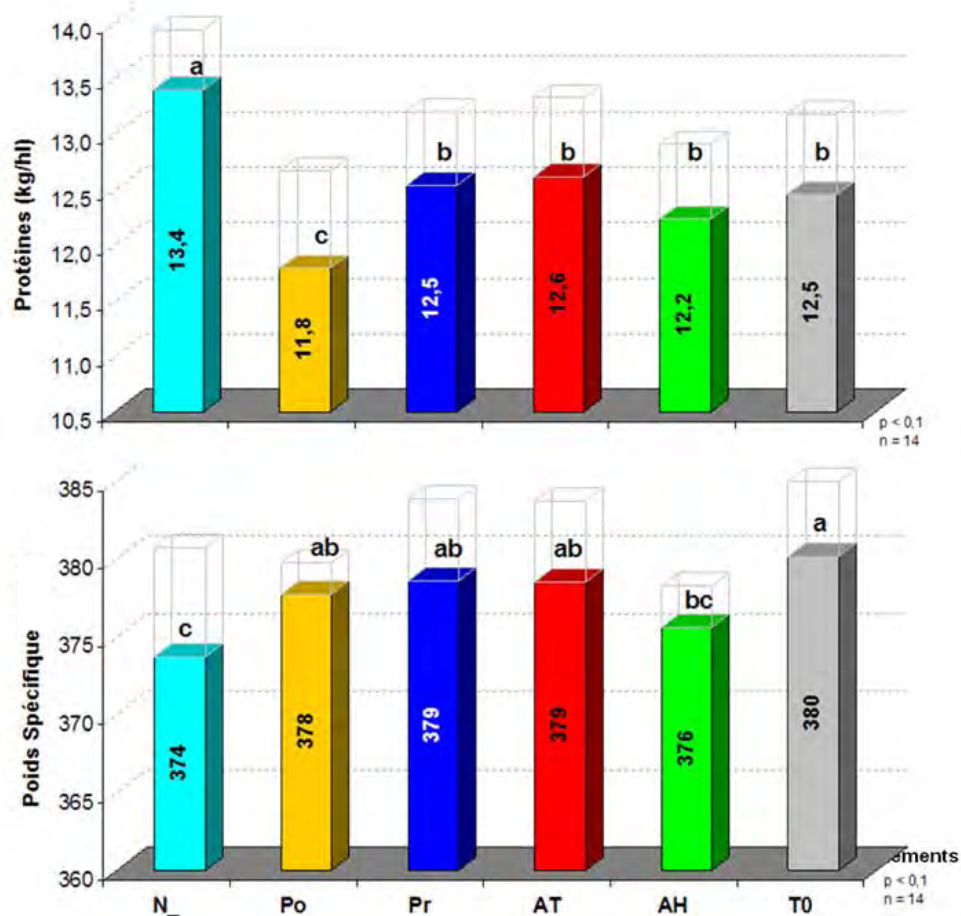


Figure 9 : Résultats d'analyse des niveaux de protéine et du poids spécifique (g/500ml) pour les essais avec fumier de poulets.

La qualité des récoltes

Pour l'ensemble des essais, les évaluations du taux de **protéines** et du **poids spécifique** des grains n'ont pas non plus permis de discriminer entre elles les différentes périodes d'épandage (Figure_9). Seuls les T0 sans EO et les parcelles N ont donné, sans surprises, des résultats significativement différents, soit un poids spécifique plus bas, et des niveaux de protéines plus élevés.

Les lectures de chlorophylle

Les lectures de **chlorophylle** prises sur les dernières feuilles émergentes du blé, à intervalles réguliers jusqu'à la récolte, sont les mesures les plus sensibles et significatives qui ont permis de discriminer l'efficacité de l'azote appliqué et prélevé par les plantes. Pour plusieurs sites, les lectures de la chlorophylle à intervalles réguliers nous livrent des indications claires sur le comportement de la culture en regard de l'azote disponible dans le sol.

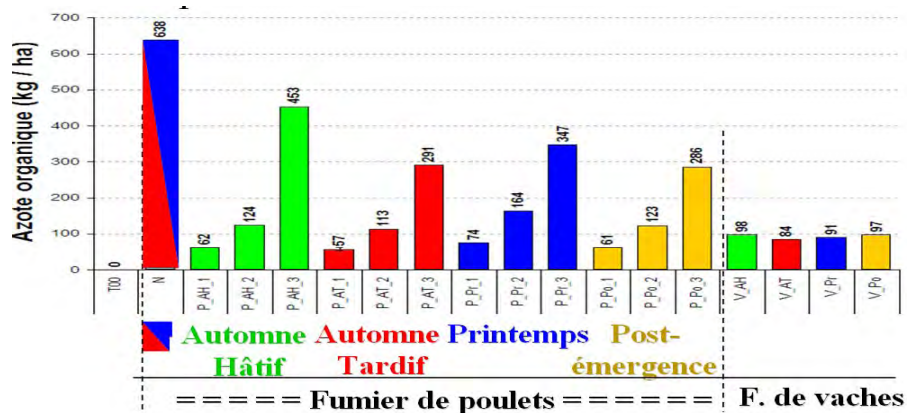
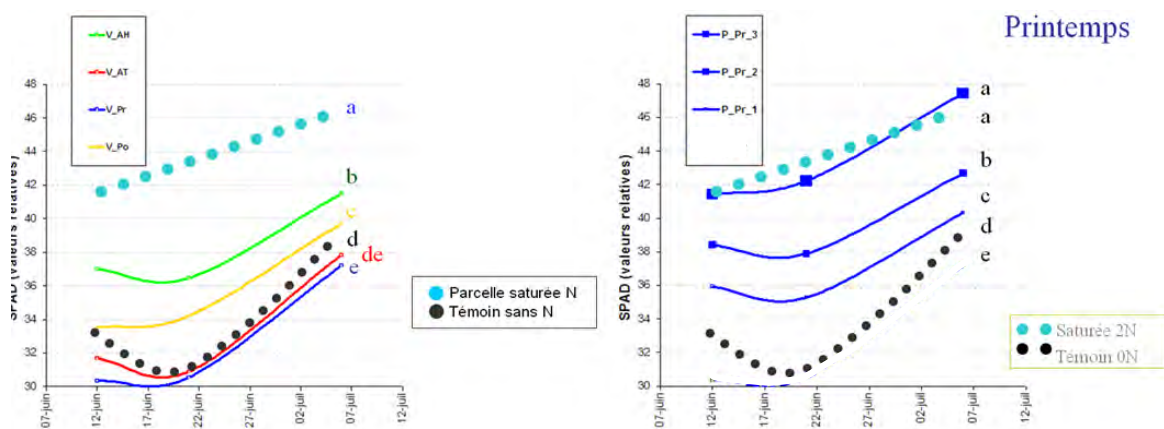


Figure 10 : Apports d'azote organique total pour l'essai « CHAM_07 » pour des fumiers de poulets (P_) et de vaches (V_).

Comme exemple, prenons les différentes doses d'azote organique provenant de deux types d'EO, et les différentes dates d'épandage chez CHAM_2007 (Figure_10). Les lectures de chlorophylle sont parvenues à départager significativement les types d'EO, les doses et les périodes d'épandage (Figure_11). Les lectures de la chlorophylle doivent toutefois être utilisées en tant qu'outil diagnostique associé à d'autres observations agronomiques. Une même valeur de la chlorophylle peut provenir de plants ayant des stades de développement différents, ou de différentes largeurs de feuilles de blé (Figure_12). On retrouve un exemple d'un tel risque possible d'erreur d'interprétation avec les résultats d'essais chez LAMR_2007 (Figure_13). La lecture de la chlorophylle donne un net avantage à l'application en Po comparativement à celle de l'AT. Toutefois, l'application en Po a produit un rendement significativement plus faible.



Date des lectures de chlorophylle

Figure 11 : Lectures de la chlorophylle pour différentes doses d'applications de printemps (droite : petite=Pr_1, moyenne=Pr_2, et grosse=Pr_3), et différentes dates d'épandage (gauche : V_AH, V_AT, V_Pr, et V_Po).

Attention !

D'autres observations sont nécessaires



Figure 12 : Le stade de croissance, ainsi que le développement des feuilles doivent être considérés lors de l'interprétation des lectures de la chlorophylle. Une même lecture relative d'une valeur de 36 sur un même site, n'a pas, dans ce cas-ci la même signification.

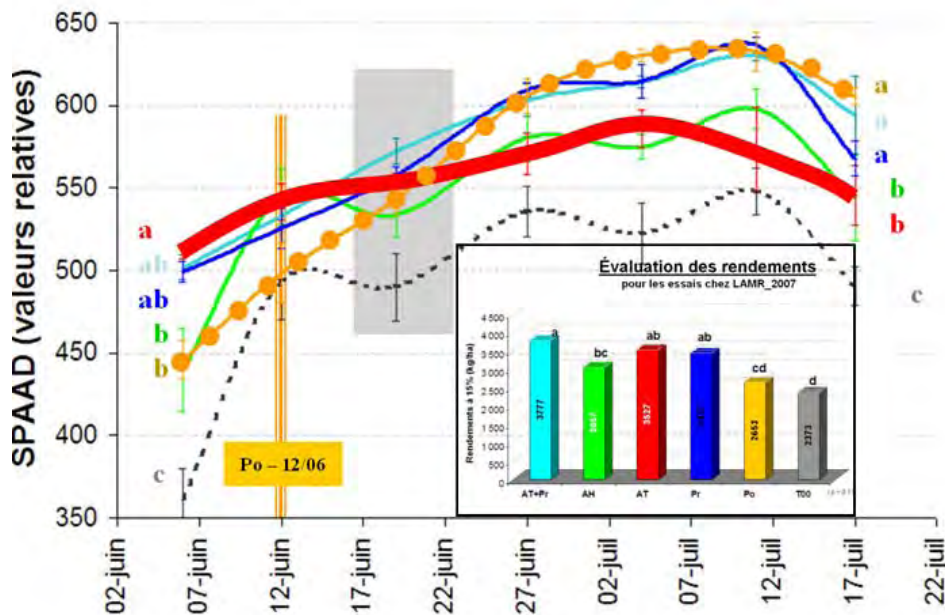


Figure 13 : Résultats de lectures de la chlorophylle au cours de la saison de croissance en lien avec les rendements (encadré). Les hauts niveaux de chlorophylle des applications, en « **post-levée** » de fin de saison, contredisent les faibles rendements obtenus.

Des faits marquants

La structure du sol

La structure du sol et les conditions climatiques qui ont prévalu lors des épandages sont des facteurs qui ont grandement influencé les résultats des essais. Chacun des sites d'essais a fait l'objet d'une caractérisation de **profil du sol** au cours de la saison de croissance des cultures de blé. Les résultats obtenus suite à la comparaison des profils de sol de 2007, démontrent clairement l'influence que peut avoir la structure du sol sur les niveaux de rendements obtenus. À la Figure_14, les structures des quatre profils de sol s'améliore de gauche à droite. On observe que les potentiels de rendements des parcelles sans fertilisation (T0) suivent cette tendance.

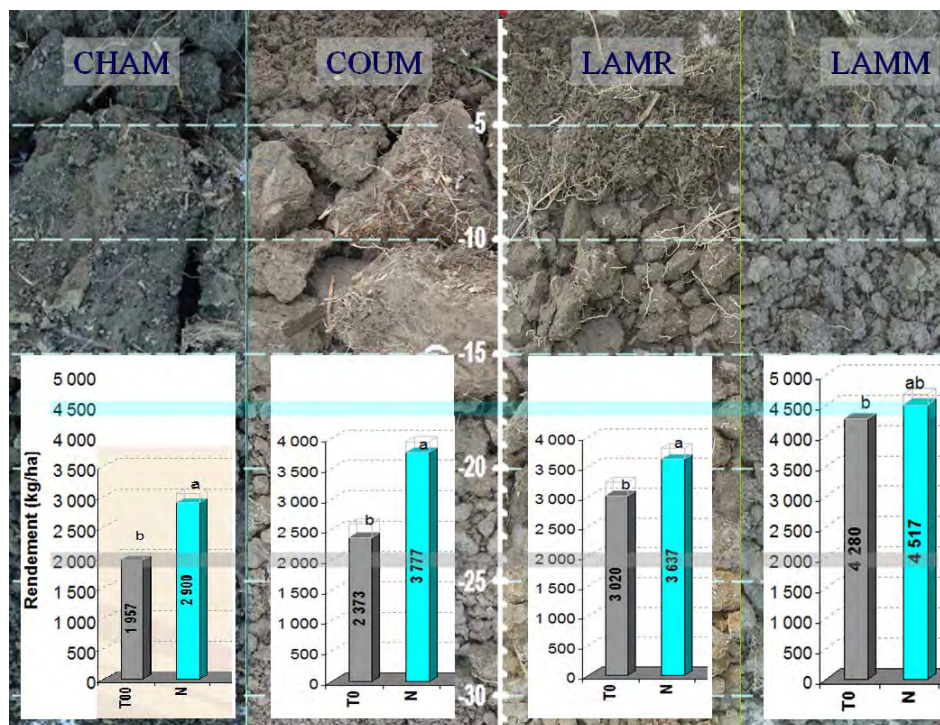


Figure 14 : Profils de sol 2007, sur une profondeur de 0-30 cm avec les rendements correspondants. La structure du sol s'améliore de gauche à droite ainsi que les rendements.

L'amplitude des différences de rendements augmente entre les traitements T0 et N suivant que la structure du sol se dégrade.

Le phénomène s'observe également pour les profils de sols comparés pour la saison 2008 (Figure_15). Pour les sols de même texture « argileuse », GAUM et CHAM, les symptômes de compaction plus profonds de GAUM ont possiblement hypothéqué le potentiel de rendement du site. Pour ceux de même texture « loam-argileux », COUM et DUBD, le même phénomène s'observe avec une compaction plus sévère et profonde pour le site COUM.

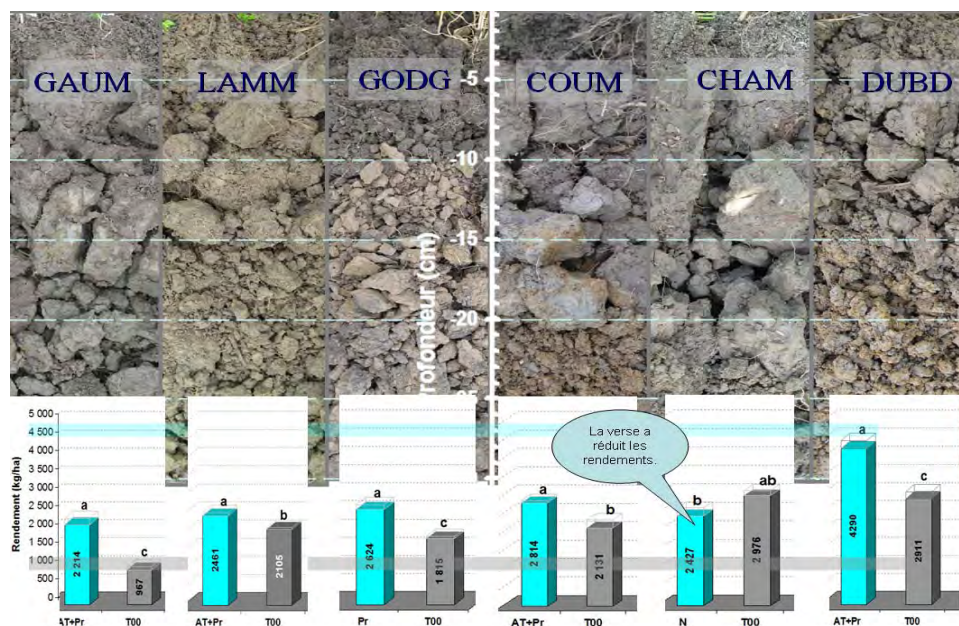


Figure 15 : Profils de sol 2008, sur une profondeur de 0-30 cm avec les rendements correspondants. Les rendements s'améliorent de gauche à droite.

L'influence des conditions climatiques

Les précipitations totales pour les deux années de suivis sont relativement semblables (Figure_16). Toutefois, la synchronicité des températures et des précipitations avec les dates d'épandage est différente et révèle des liens très étroits et inattendus. L'interprétation des résultats nous oblige à considérer les conditions climatiques qui prévalaient lors des épandages.

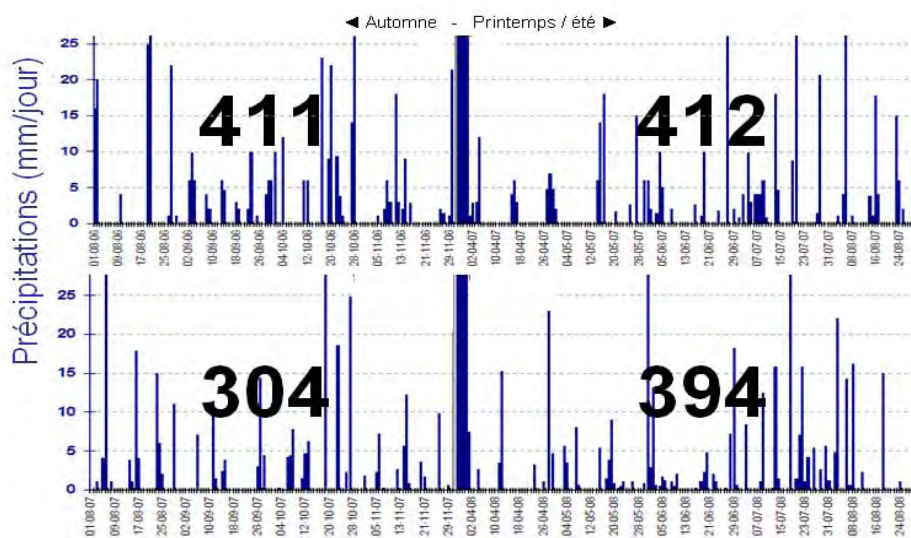


Figure 16 : Précipitations journalières de l'automne 2006 à l'été 2008.

Pour le « Cas #1_CHAM », le fumier de vaches épandu en Po du blé a livré la meilleure efficacité fertilisante. Cette recommandation est généralement à proscrire pour les fumiers solides de vaches, mais ici, parce qu'il a plu dans les heures suivant l'application (Figure_17), la pluie a lessivé l'azote minéral du fumier et a conduit à une meilleure efficacité du N qui s'est traduit par des taux de chlorophylle plus élevés (Figure_11) pour les applications en Po par rapport à celles de l'AT et du Pr.

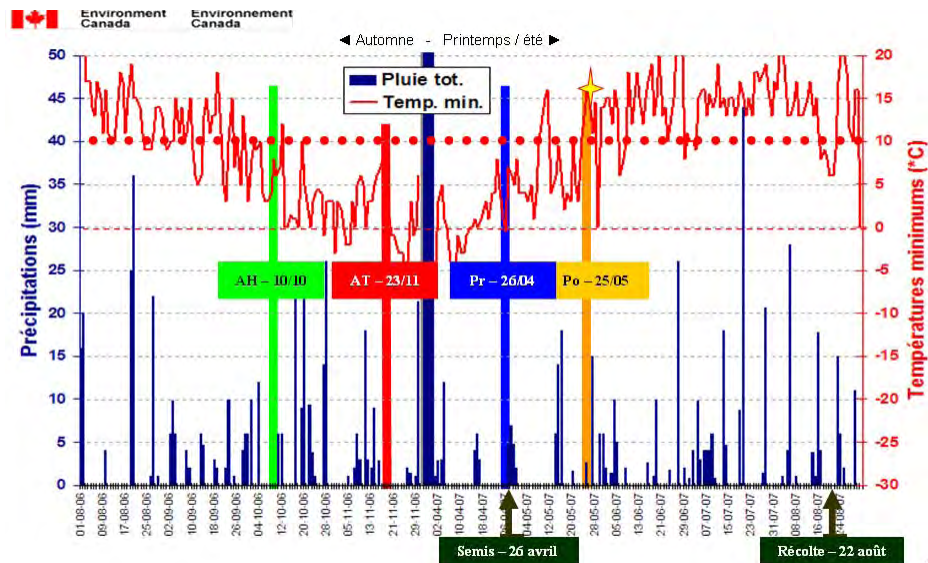


Figure 17 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez CHAM_2007 (Cas #1).

Pour le « Cas #2_LAMR ». Une recommandation d'appliquer du lisier de porcs en post-levée du blé est, de manière générale, tout à fait appropriée. L'azote des lisiers est sous formes minérales, et il est rapidement disponible pour la culture. Toutefois, dans ce cas-ci, parce que les températures avoisinent les 30°C depuis déjà 4 jours consécutifs (Figures_18 et 19), qu'il n'y a presque pas eu de pluie depuis près d'une semaine, et que ces conditions ont perduré pour encore une autre semaine complète, cette recommandation est catastrophique. Les rendements ont chuté de presque une tonne à l'hectare (Figure_20). Dans un autre cas, un épandage de 50 et 100 kg d'azote/ha sous forme de lisier de maternité en post-levée du blé, avait donné des augmentations très appréciables en rendement de blé (Figures_21).

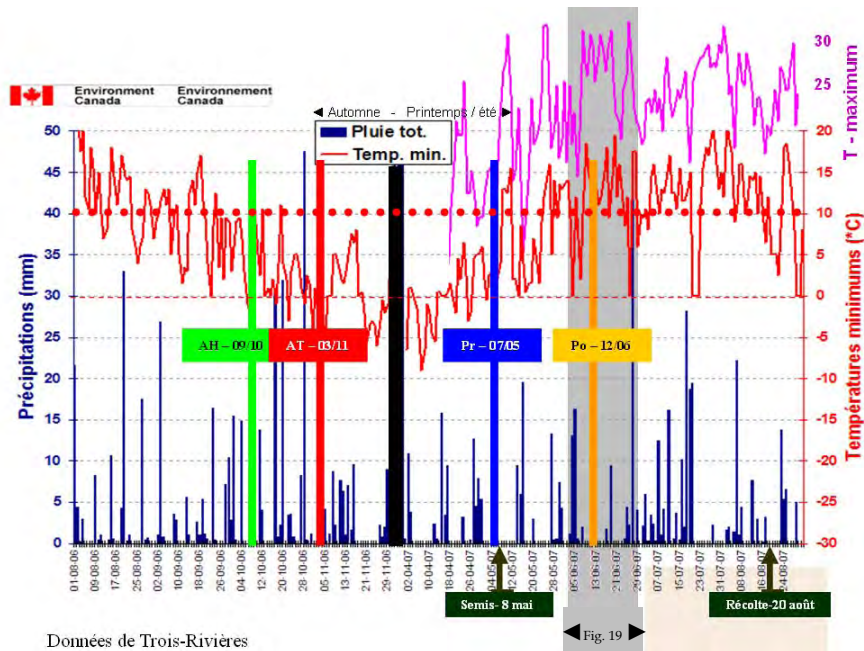


Figure 18 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez LARM_2007 (Cas #2).

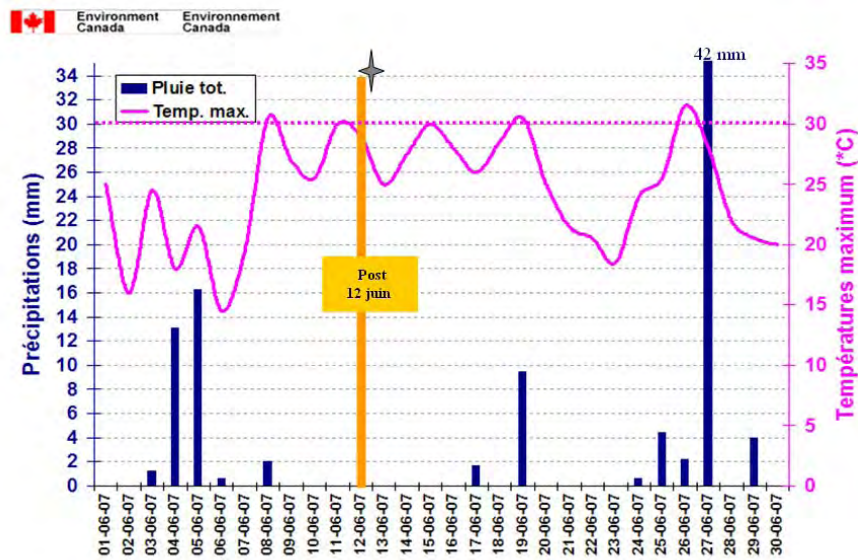


Figure 19 : Conditions climatiques avant et après l'épandage de lisier de porcs en post-émergence du blé. Essais chez LARM_2007 (Cas #2).

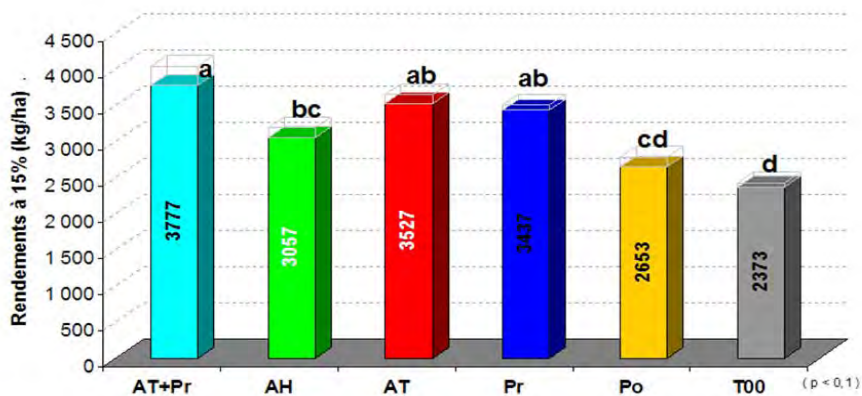


Figure 20 : Évaluation des rendements pour les essais chez LAMR_2007 (Cas #2).

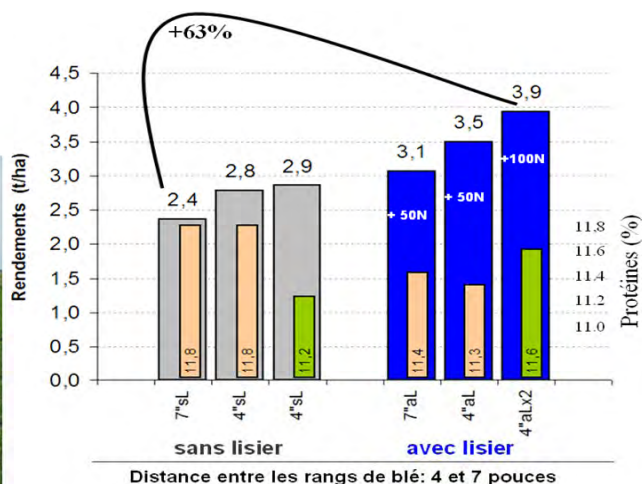


Figure 21 : Augmentation de 63% du rendement en blé suite à un épandage de lisier de maternité de porcs en post-émergence du blé, le 29 mai, suivi d'une faible pluie.

Pour le « Cas #3_GAUM » (Figures_22), les applications de l'AT ont été faites lors de mauvaises conditions de sol. Même si les quantités d'azote total appliquées en AT semblent être supérieures à celles de l'AH (Figure_23), les lectures de chlorophylle (Figure_24) et les rendements (Figure_25), confirment l'avantage de l'application en AH. L'application de l'AH a mieux performé que celle du Pr, selon les lectures de chlorophylle et ce, malgré que les quantités d'azote total des applications au Pr soient supérieures à celles de l'AH.

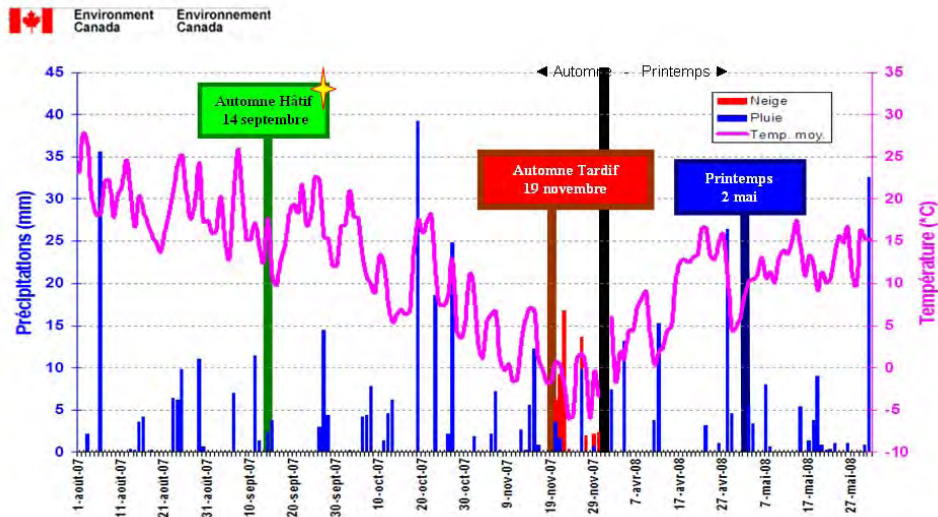


Figure 22 : Conditions climatiques avant et après l'épandage de lisier de porcs en post-émergence du blé. Essais chez GAUM_2008 (Cas #3).

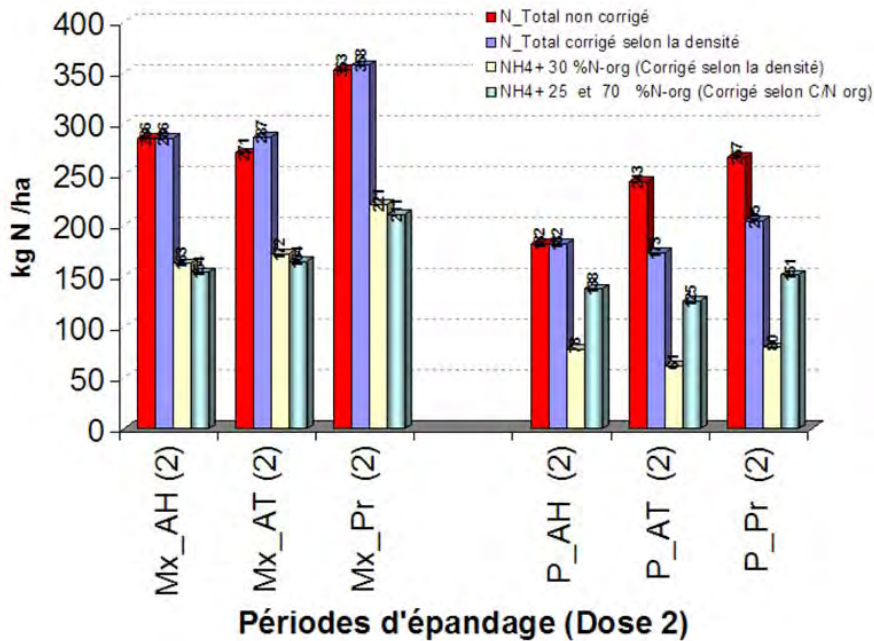


Figure 23 : Quantités d'azote organique apportées par un fumier mixte (Mx_ : Poulets + Porcs + vaches), et un fumier de poulets (P_) selon différentes dates d'épandage. Les quantités d'azote total (en rouge) sont par la suite évaluées théoriquement selon différents scénarios d'efficacité en fonction du contenu en NH₄, et des rapports C/N-organique. Essais chez GAUM_2008 (Cas #3).

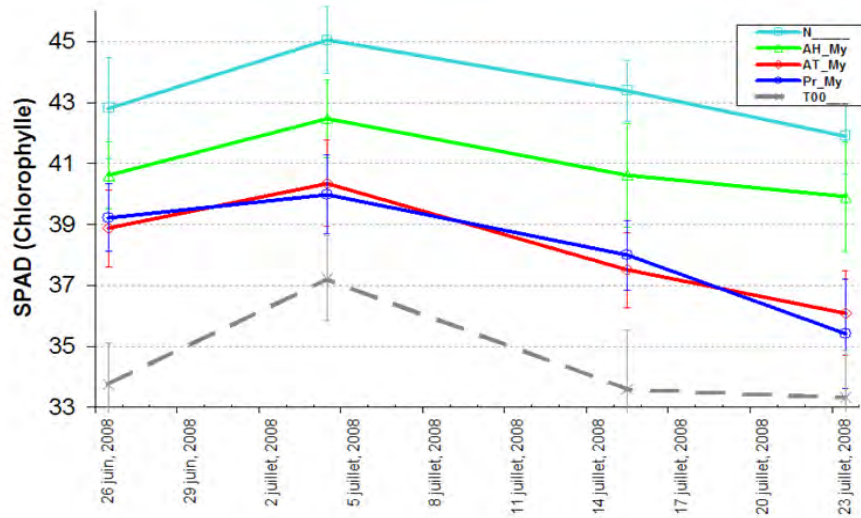


Figure 24 : Lectures de chlorophylle pour les essais chez GAUM_2008 (Cas #3).

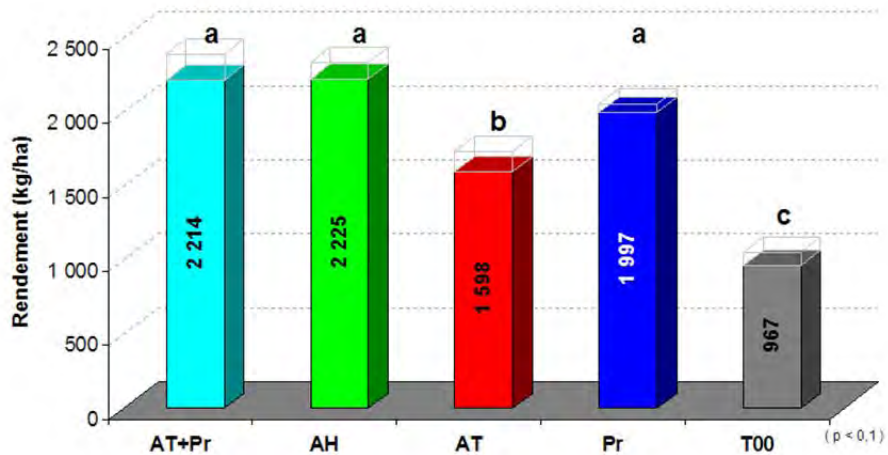


Figure 25 : Rendements obtenus selon les différentes périodes d'épandage pour les essais chez GAUM_2008 (Cas #3).

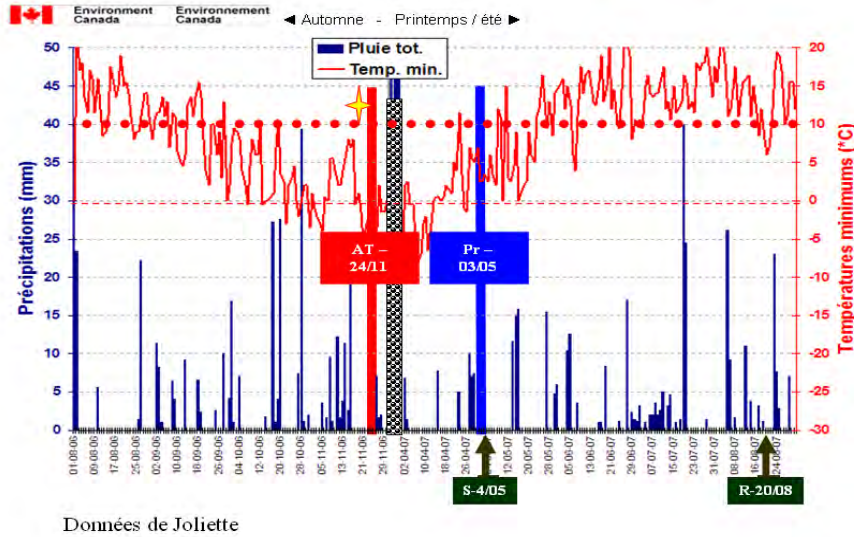


Figure 26 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4).

Pour le « Cas #4_COUM » (Figure_26), l'état du sol à l'issue d'une semaine sans pluie précédant les épandages d'AT semble avoir offert de meilleures conditions de sol que lors des épandages du Pr, où 25 mm de pluie sont tombés quelques jours avant les applications d'EO. Les avantages se voient aux résultats de lectures de la chlorophylle (Figure_27) et des rendements (Figure_28). Malgré une quantité d'azote légèrement supérieure pour les applications du Pr, l'absence de pluie suivant les semis a nui à l'efficacité de l'azote qui avait été incorporé superficiellement au sol à l'aide d'un vibroculteur. L'enfouissement plus profond de l'azote par le labour d'automne a favorisé significativement la production des deux variétés de blé soumises à l'évaluation (Figure_28).

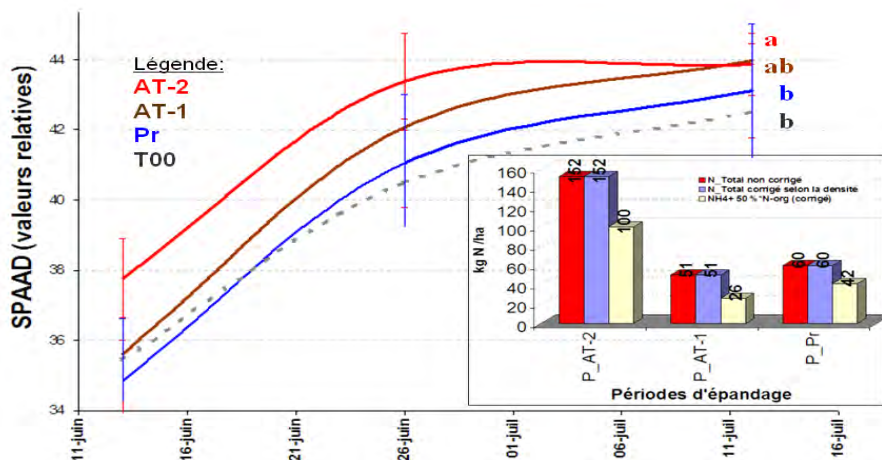


Figure 27 : Lectures de chlorophylle pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4), et doses d'azote organique appliquées (encadré) selon les différentes périodes d'épandage.

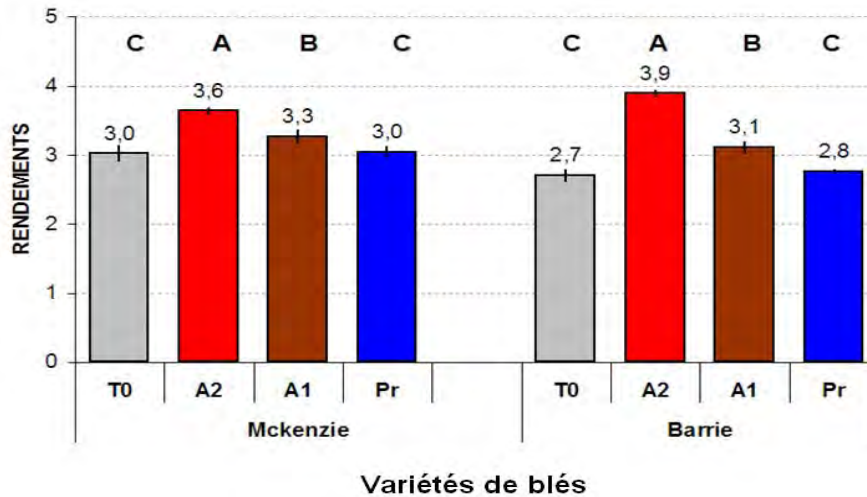


Figure 28 : Rendements pour deux variétés de blé pour les essais chez COUM_2007 (Cas #4).

Pour le « Cas #5_GODG » (Figure_29), les conditions d'épandages du printemps sont plus qu'excellentes et ces bonnes conditions ont eu un impact important sur les rendements (Figure_30). Les applications d'AH et d'AT ont été appliquées sur un engrais vert de blé, et n'ont pas été enfouies, contrairement à l'application du printemps qui a été incorporée au sol immédiatement après l'épandage. Sans doute que l'enfouissement de l'azote au printemps (Figure_43) a contribué pour une large part à rehausser l'efficacité de l'EO.

Malgré une dose d'azote légèrement supérieure épandue à l'AH (Figure_43), la culture du blé n'a pas réussi à la mettre en valeur par rapport aux autres périodes d'épandage (Figure_30).

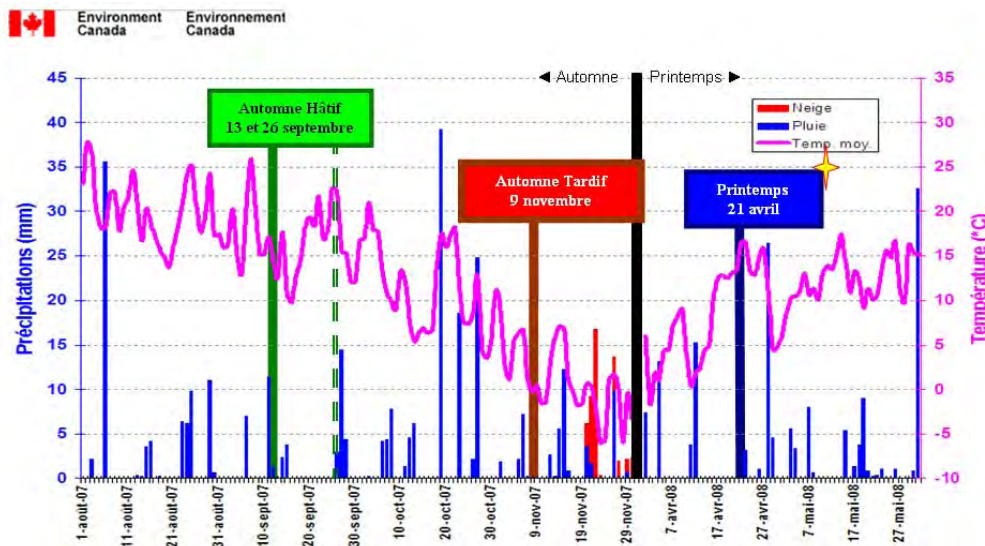


Figure 29 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez GODG_2008 (Cas #5).

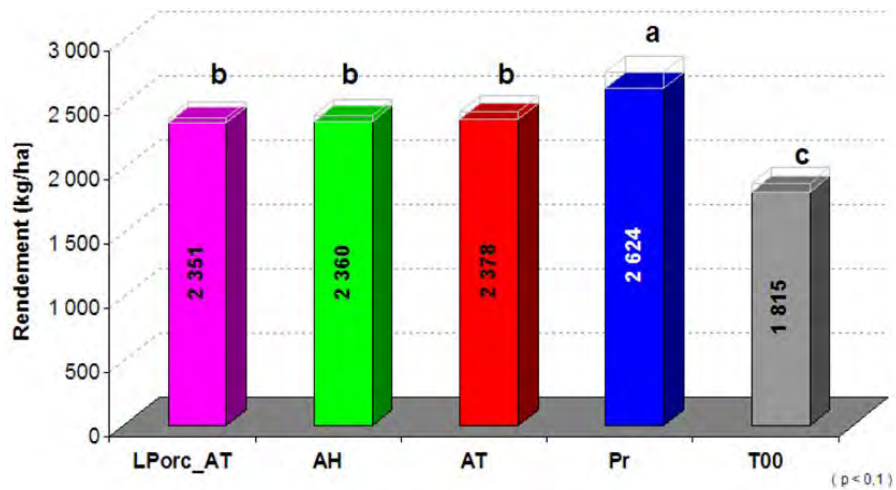


Figure 30 : Rendements pour les essais chez GODG_2008 (Cas #5).

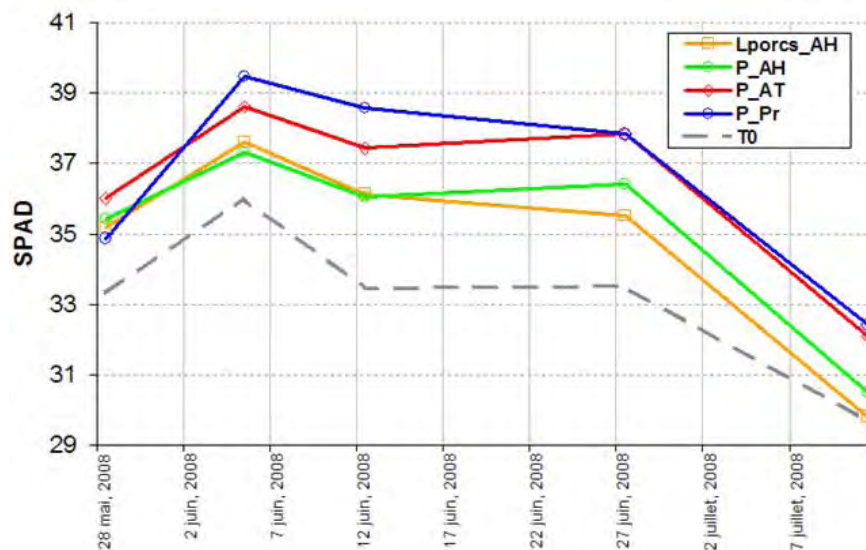


Figure 31 : Lectures de chlorophylle pour les essais chez GODG_2008 (Cas #5).

Pour le « Cas #6_COUM » (Figure_32), les deux doses d'application des EO (Figure_33) donnent des résultats similaires pour les deux périodes d'épandages (Figure_34). Les précipitations survenues immédiatement avant l'application du Pr ne semblent pas avoir eu d'impact négatif (compaction) sur l'efficacité de l'EO. Ces précipitations sont survenues sur un sol déjà asséché par un longue période de 16 jours sans pluie importante.

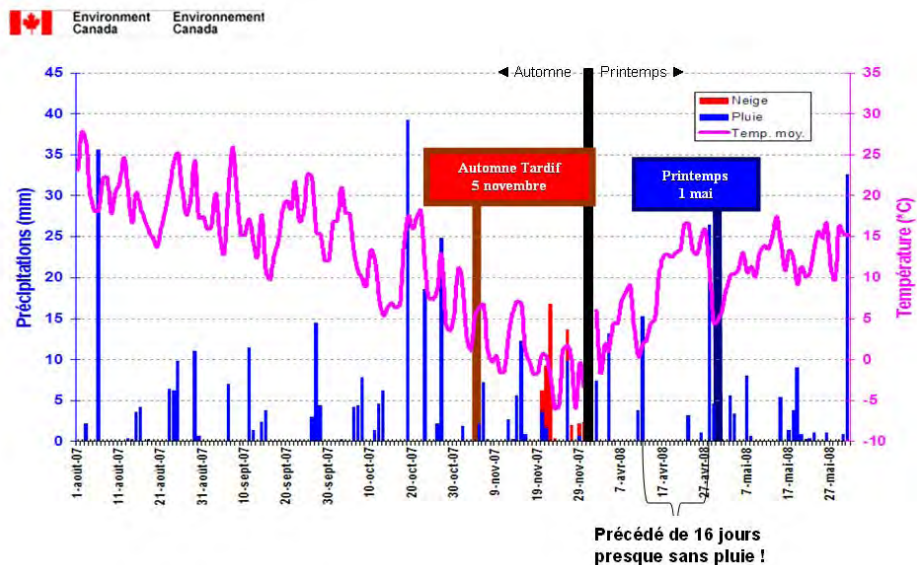


Figure 32 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez COUM_2008 (Cas #6).

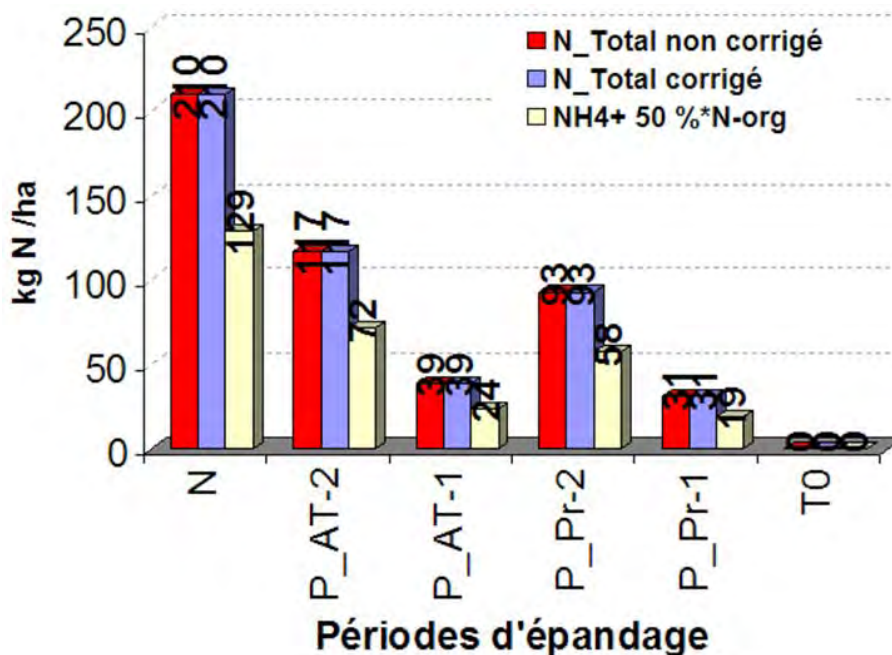


Figure 33 : Quantités d'azote organiques apportées par un fumier de poulets (P_) selon deux doses d'application et différentes dates d'épandage. Les quantités d'azote total (en rouge) sont par la suite évaluées théoriquement selon différents scénarios d'efficacité en fonction de la densité et du contenu en azote organique des fumiers épandus. Essais chez COUM_2008 (Cas #6).

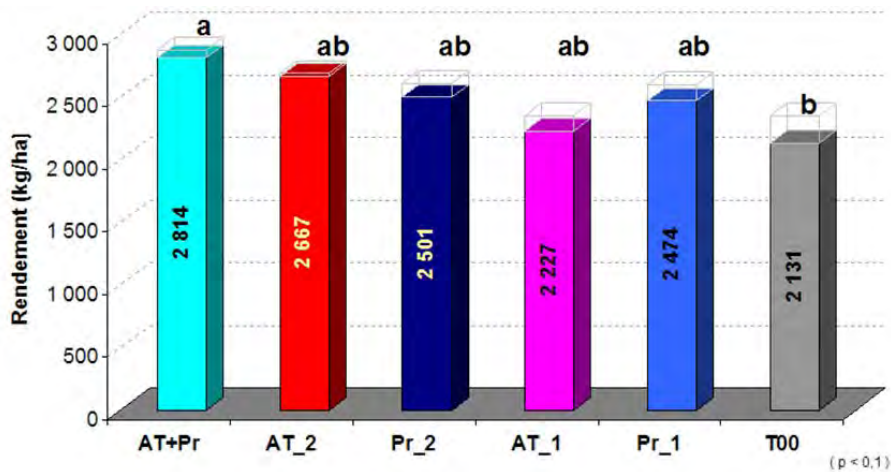


Figure 34 : Rendements pour les essais chez COUM_2008 (Ca #6).

Pour le « Cas #7_DUBD » (Figure_35), les données de pluviométrie précédant chacune des trois périodes d'épandage sont similaires, et nous permettent de croire que les épandages ont tous été effectués lors d'excellentes conditions de sol. Conséquemment, aucune tendance marquée n'est observée sur les lectures de chlorophylle ou pour les rendements (Figure_36).

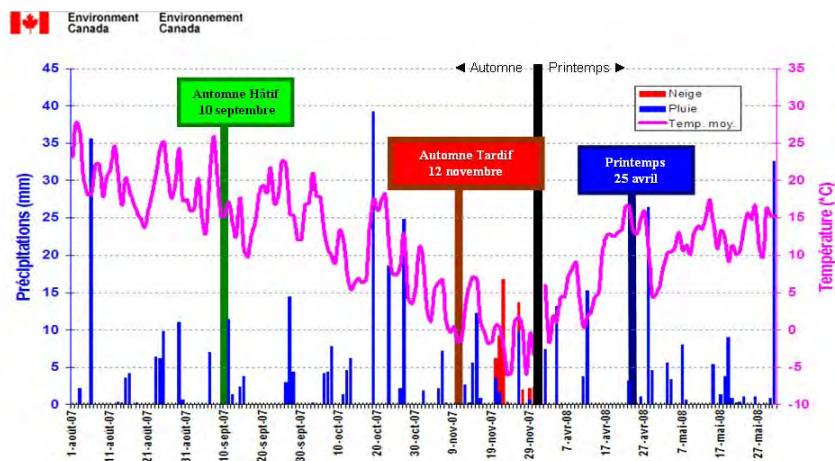


Figure 35 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2008 (Cas #7).

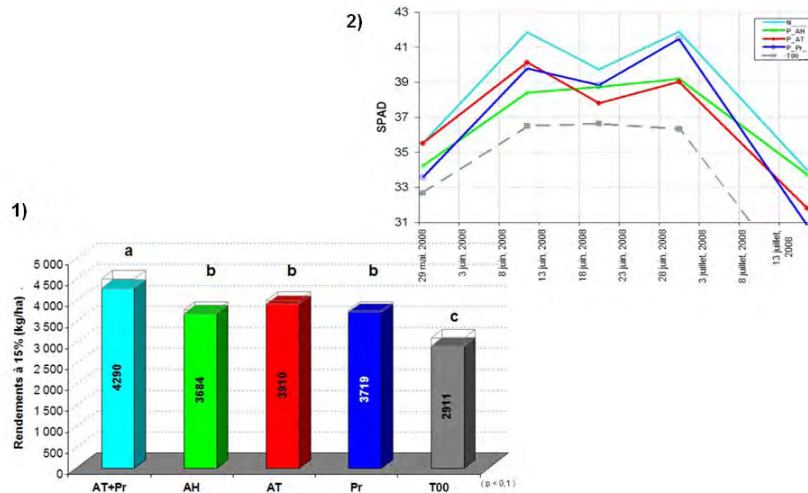


Figure 36 : Rendements (1), et lectures de la chlorophylle (2) selon les différentes dates d'épandage pour les essais chez DUBD_2008 (Cas #7).

Pour le « Cas #8_LAMM » (Figure_37), sur ce loam sableux contenant 70% de sable, les conditions pluvieuses qui ont précédé l'épandage du printemps n'ont pas eu d'impact négatif sur la culture. Les résultats doivent toutefois être interprétés en considérant que les rendements des parcelles témoins ne sont pas statistiquement différents de ceux des parcelles saturées (Figure_38). C'est la signature d'un sol possédant une très haute fertilité. Un sol ayant une texture de sol plutôt sableuse, est également reconnu comme étant moins vulnérable à la compaction.

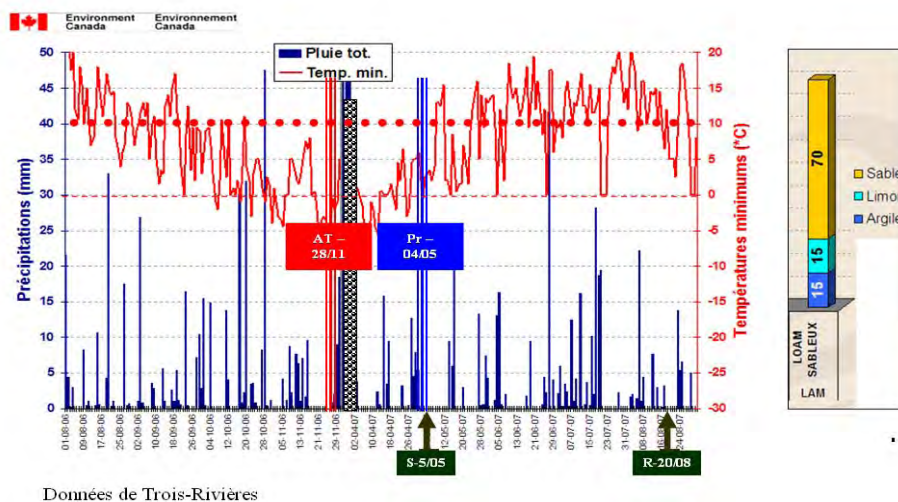


Figure 37 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais chez LAMM_2007 (Cas #8).

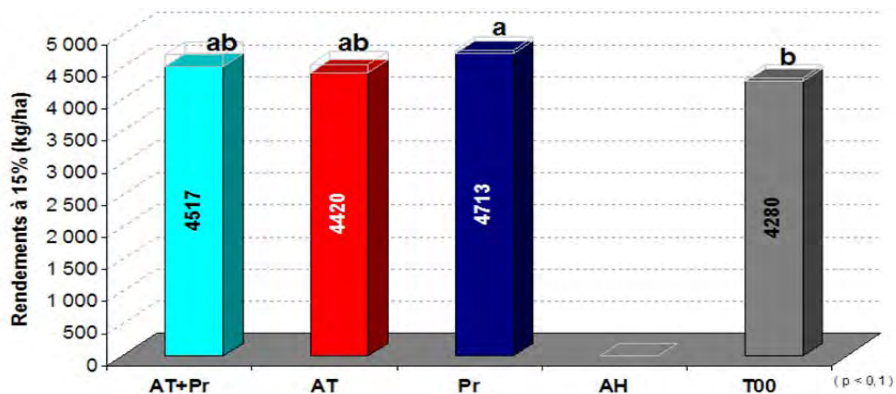


Figure 38 : Rendements selon les différentes dates d'épandage pour les essais chez LAMM_2007 (Cas #8).

Des points importants

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, la réalité des essais à la ferme nous a contraints à nous adapter aux réalités techniques de ces entreprises agricoles. La presque majorité des entreprises qui ont participé au projet sont des entreprises qui importent leur EO; en conséquence, des variations en azote parfois importantes se présentent entre les différentes réceptions des lots de fumiers. Ce fait à lui seul nous a obligés à pousser l'expertise plus loin pour mieux définir les doses d'azote appliquées selon les résultats d'analyses des EO reçues. La caractérisation des fumiers nous permet d'apporter des correctifs pour mieux évaluer les doses d'azote susceptibles d'être valorisées par la culture. De fait, il existe une excellente corrélation entre la matière sèche et la densité des fumiers de poulets (Figure_39).

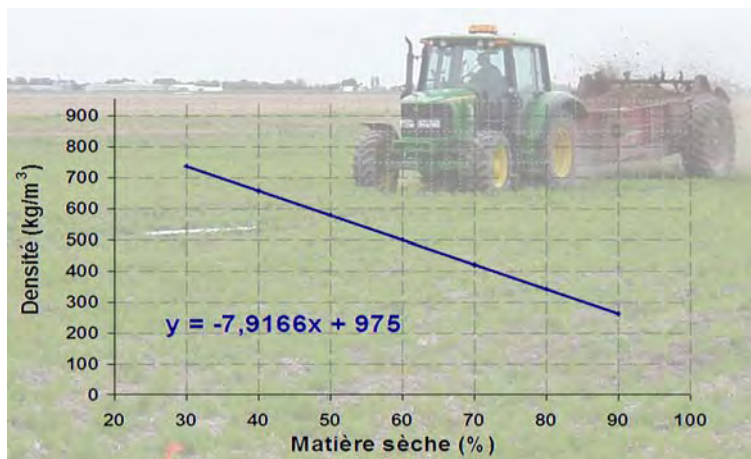


Figure 39 : Corrélation entre la densité des fumiers de poulets à griller, et les résultats de la matière sèche du rapport d'analyse.

Compte tenu que la seule donnée récurrente et identique pour chacun des épandages sur un même site est le volume de fumier épandu par m², il suffit de trouver la densité du fumier de poulet à l'aide du graphique (Figure_39) et du résultat de la matière sèche livré par le rapport d'analyses. Une fois que la densité est connue, il est possible de corriger le poids du fumier appliqué et de recalculer la quantité d'azote appliquée (Figure_33, et autres).

Le rapport C/N-organique a également permis de corriger certaines variations des applications d'azote, en transformant les quantités d'azote totales appliquées en quantités d'azote théoriquement valorisables. Les graphiques pour les doses d'azote appliquées sur chacun des sites d'essais donnent les valeurs d'azote brutes et corrigées.

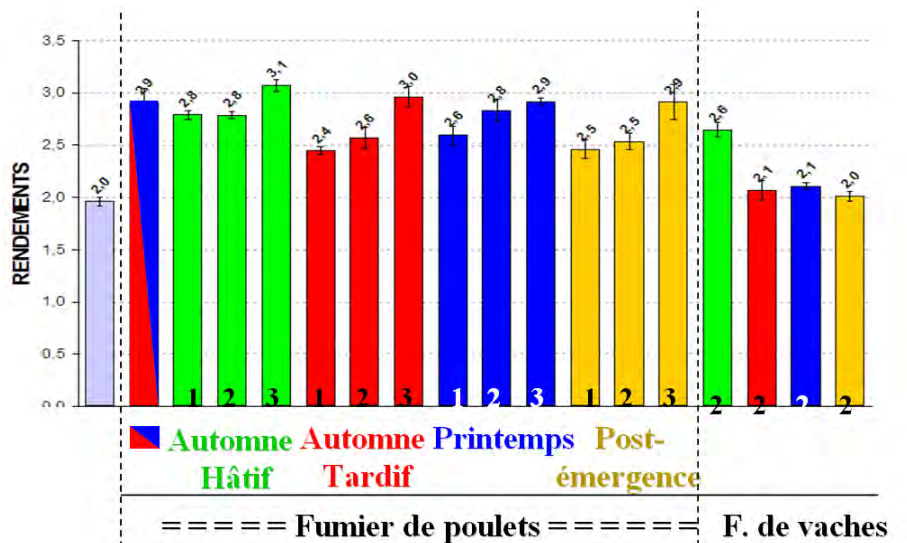
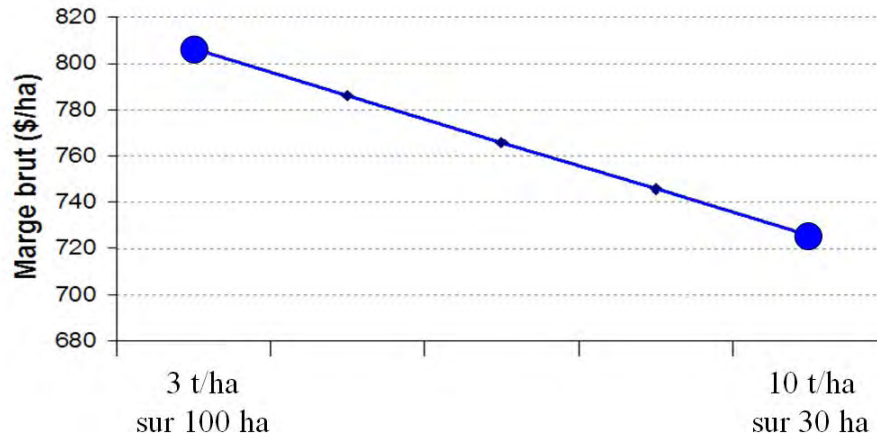


Figure 40 : Rendements obtenus suite à l'application de trois doses de fumier de poulets (1=petite, 2 moyenne, et 3 grosse dose) et une dose moyenne de fumier de vaches laitières selon trois différentes périodes d'épandage.

Pour le « Cas #1_CHAM » (Figure_40), où trois doses d'azote ont été appliquées, les plus grosses doses d'azote ont donné les meilleurs rendements. Il faut prendre note que les parcelles pour l'épandage d'AH, sur ce site, ont bénéficié de l'enfouissement de la culture précédente de soya avant sa récolte. Les apports d'azote provenant des gousses de soya, encore vertes lors de l'enfouissement, nous force à discréditer la bonne performance des résultats pour l'AH. Ils ne sont donc pas considérés dans l'analyse des résultats.

Cet essai nous permet d'élaborer d'avantage sur les meilleures doses d'azote à appliquer pour la culture du blé biologique. Exemple : un producteur qui dispose d'une quantité limitée de fumier à épandre sur ses champs, aurait avantage à couvrir toutes ses terres avec une petite dose plutôt que d'épandre

une moyenne ou une grosse dose sur seulement une fraction de ses terres. La meilleure rentabilité économique entre les différentes doses d'épandage pour ce site, est la plus petite des trois doses mises à l'essai. Le scénario présenté à la Figure_41 démontre bien que la dose de 3 t/ha permet de couvrir la totalité des 100 hectares de blé, et dégage ainsi la meilleure marge brute par hectare. Les premiers kilos d'N sont toujours les plus rentables.



Selon les performances compilées chez CHAM_2007

- augmentation de 30% suite à une application de 3 t/ha
- augmentation de 50% suite à une application de 10 t/ha
- coûts d'épandage évalué à 3\$/t
- rendement sans application de fumier = 2 t/ha
- prix de vente du blé biologique = 320\$/t

Figure 41 : Scénario économique pour une entreprise de 100 ha de blé ayant 300 tonnes de fumier de poulets à épandre.

Des cas décisifs

Voici, parmi tous les essais réalisés, les seuls cas comparables deux-à-deux pour les différentes dates d'épandage qui donnent un avantage à l'une ou l'autre des périodes d'épandage.

Pour le « Cas #2_LAMR » (Figure_42), malgré des doses d'azote identiques pour les applications d'AH et d'AT, la performance des applications d'AT se confirme par le meilleur démarrage (Figure_13) de la culture et par l'apparence de meilleurs rendements (Figure_20).

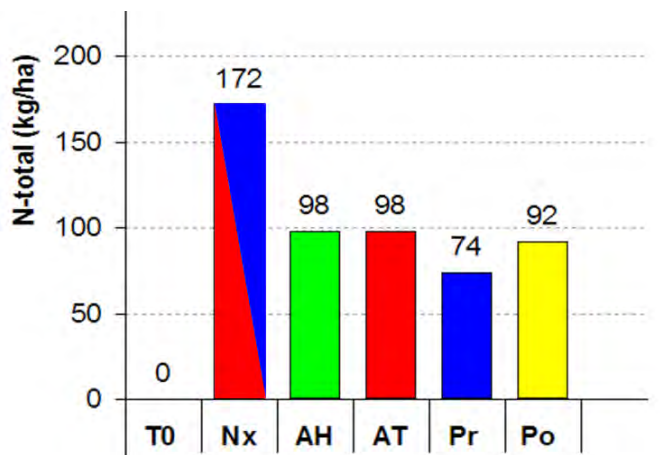


Figure 42 : Doses d'azote organique appliquées pour le site LAMR (Cas #2) selon les différentes périodes d'épandage.

Pour le « Cas #3_GAUM », selon les lectures de chlorophylle (Figure_24), les épandages d'AH ont mieux performé que ceux d'AT et du Pr et ce, malgré que les quantités d'azote total des applications de l'AH soient inférieures, ou égale aux autres (Figure_23).

Pour le « Cas #4_COUM », malgré une quantité d'azote légèrement supérieure pour les applications du Pr (Figure_27-encadré), les applications d'AT livrent de meilleures performances (Figure_28).

Pour le « Cas #5_GODG », considérant que plus d'azote a été appliqué lors de l'épandage du fumier de poulets de l'AH par rapport à un fumier de dindes à l'AT (105 vs 77) (Figure_43), que ces deux dates d'application livrent des rendements égaux (Figure_30), la meilleure efficacité est accordée aux épandages d'AT, qui est confirmée par les lectures de chlorophylle (Figure_31).

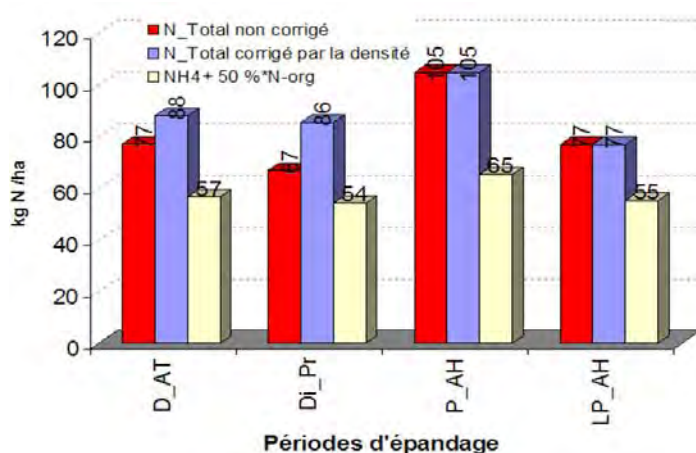


Figure 43 : Doses d'azote organique appliquées pour le site GODG (Cas #5) selon les différentes périodes d'épandage (D_ et Di_ = dindes, P_ = Poulets, LP_ = lisier de porcs).

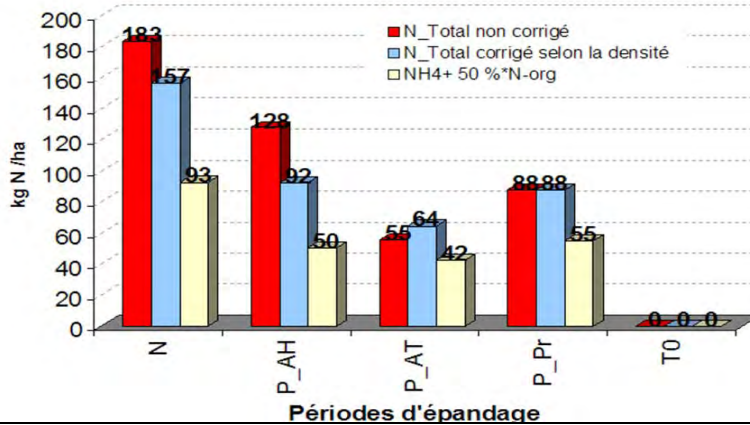


Figure 44 : Doses d'azote organique appliquées pour le site DUBD (Cas #7) selon les différentes périodes d'épandage (P_= Poulets).

Pour le « Cas #7_DUBD », considérant que plus d'azote a été appliqué lors de l'épandage d'AH par rapport à l'AT (128 vs 55) (Figure_44), et que les performances des épandages d'AH sont quelque peu inférieures à celles d'AT (Figure_36), la meilleure performance est accordée aux épandages d'AT.

Pour le « Cas #9_LAMM », considérant que plus d'azote a été appliqué lors de l'épandage du Pr par rapport à l'AT (78 vs 54) (Figure_45), et que les performances des épandages d'AT sont quelques peu supérieures à celles du Pr (Figures_46 et 47), la meilleure performance tend en faveur de l'AT (sur ce site, le traitement AH a bénéficié de l'enfouissement de la culture du soya avant sa récolte).

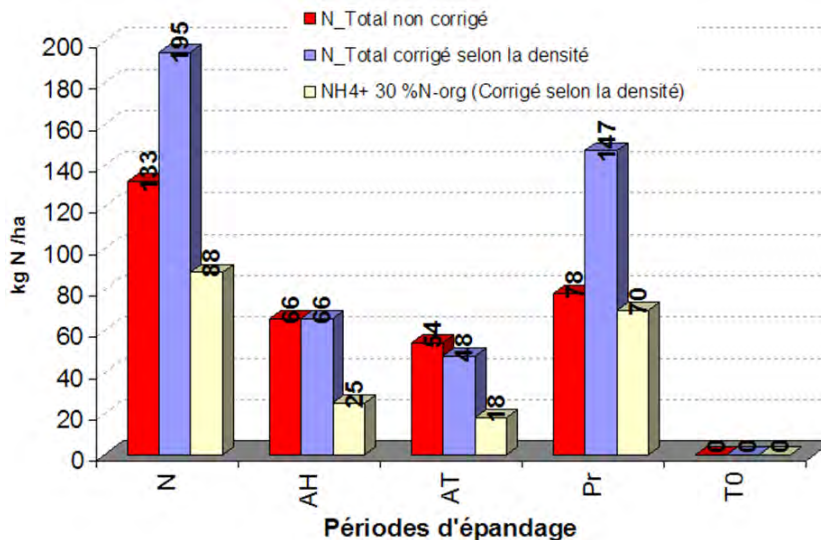


Figure 45 : Doses d'azote organique (fumier de poulets) appliquées pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.

Tous les autres comparables deux-à-deux sont vulnérables à la critique. Soit que les conditions météo soient fortement impliquées, ou que des données contradictoires viennent compromettent la clarté d'une éventuelle décision de favoriser l'une ou l'autre des périodes d'épandage.

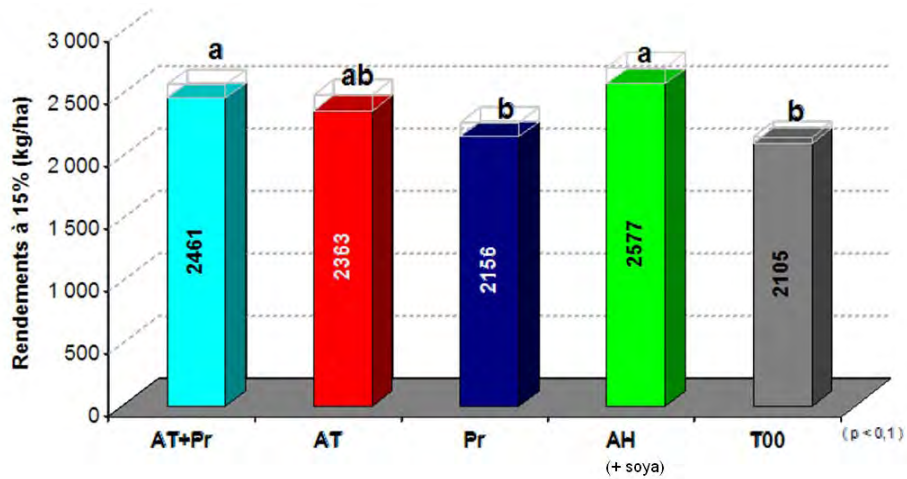


Figure 46 : Rendements pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.

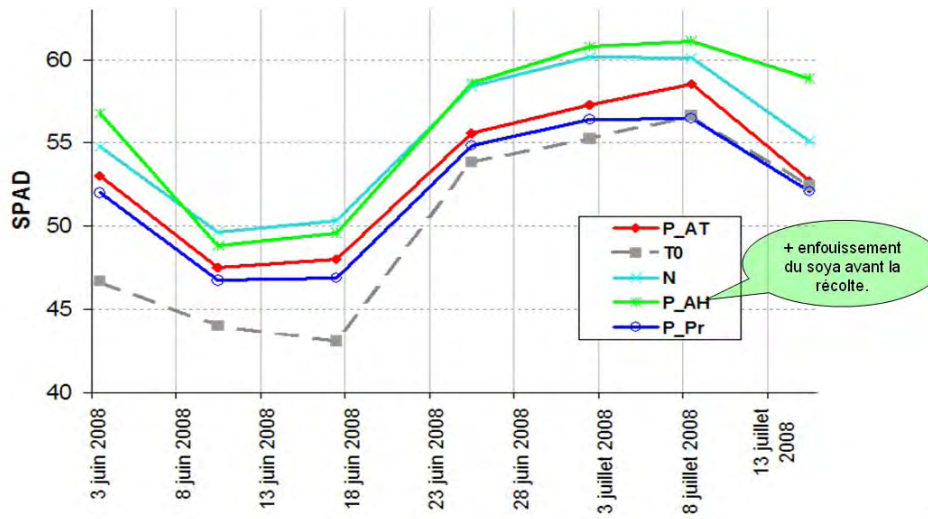


Figure 47 : Résultats des lectures de la chlorophylle pour le site LAMM_2008 (Cas #9) selon les différentes périodes d'épandage.

Photos aériennes

Les photos aériennes ont permis de conserver la mémoire de l'état des sites d'essais pour mieux analyser et interpréter les résultats obtenus. Dans certains cas, l'ampleur de la verse du blé a permis de corriger l'interprétation des différences de rendements qui, à première vue, étaient illogiques. Dans un autre cas, la photo a conduit à l'élimination du site (Figure_48).

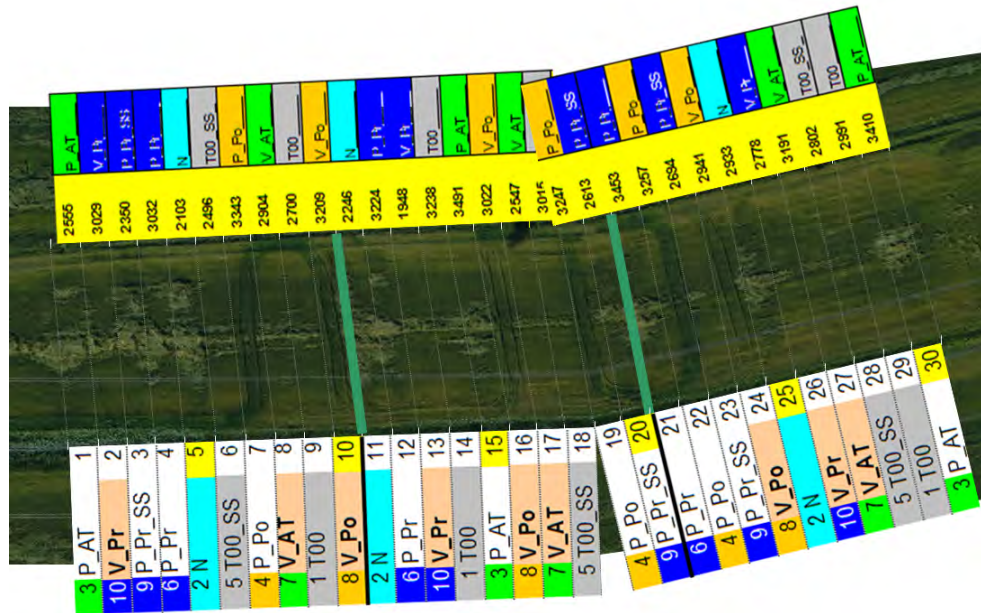


Figure 48 : Photo aérienne du site éliminé de CHAM_2008.

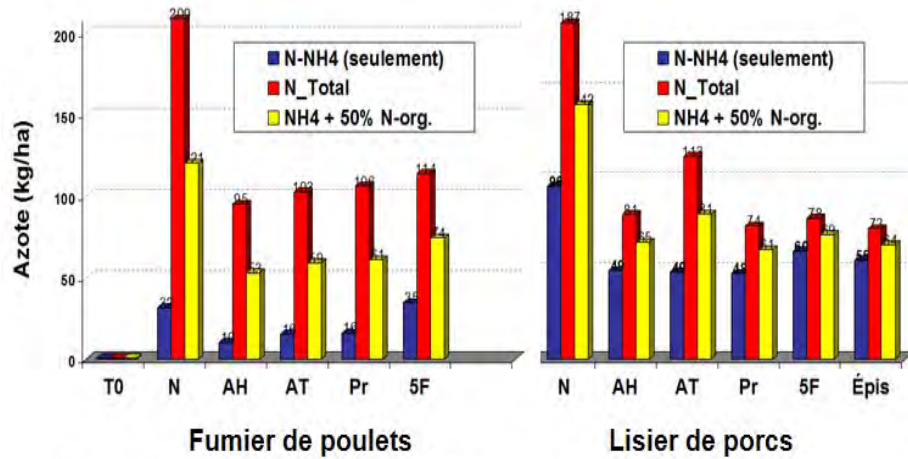
Résultats pour la saison de cultures de 2009

Les essais de 2009, qui ont été faits sur les terres du centre de recherches du CÉROM, nous permettent de comparer les résultats de deux types d'engrais organiques dans un même champ. Pour assurer l'uniformité de la dose d'application, les épandages du lisier de porc et du fumier de poulet ont été faits à la main pour chacune des cinq différentes périodes d'épandage (Figure_49). Les quantités d'azote efficace appliquées ont ainsi mieux été contrôlées (Figure_50). Une dose moyenne d'azote de 65 kg/ha a été appliquée avec un c.v. de 13% pour l'ensemble des différentes périodes d'application, comparativement à une dose de 60 kg/ha qui était planifiée selon le protocole pour la culture du blé. L'incorporation ainsi que la simulation de compaction du sol ont été fait immédiatement après les applications pour chacune des dates. Les 96 parcelles de 21 m² chacune sont réparties selon un dispositif expérimental en 4 blocs complets aléatoires dont les comparables « Compaction » sont disposés selon un dispositif « Split plot » (Figure_51).

Selon le relevé des températures et des précipitations, les épandages d'AT ont été faits juste avant la baisse importante des températures de l'air (Figure_52). Les applications en basses températures évitent la volatilisation de l'ammoniaque lors des épandages, et réduit de façon importante la transformation (minéralisation) de l'EO en NO₃. Les applications sans incorporation mécanique en Post-émergence du blé ont été faites, juste avant une pluie pour favoriser l'infiltration dans le sol de l'azote minéral des EO, et pour réduire également les pertes par volatilisation.



Figure 49 : Épandage à la main des engrais organiques suivi d'un enfouissement superficiel et d'une simulation de la compaction sur une section de chacune des parcelles.



Périodes d'épandage des engrais organiques

Figure 50 : Quantités d'azote total, sous forme N-NH₄, et efficace, appliquées avec les deux types d'engrais organiques.

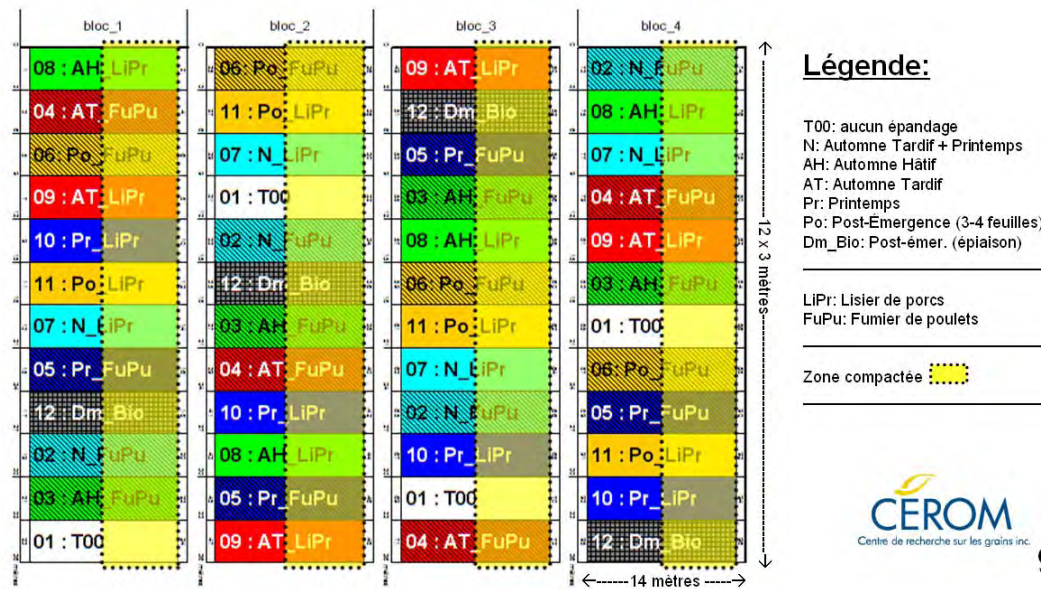


Figure 51 : Dispositif expérimental des essais du site du CÉROM en 2009.

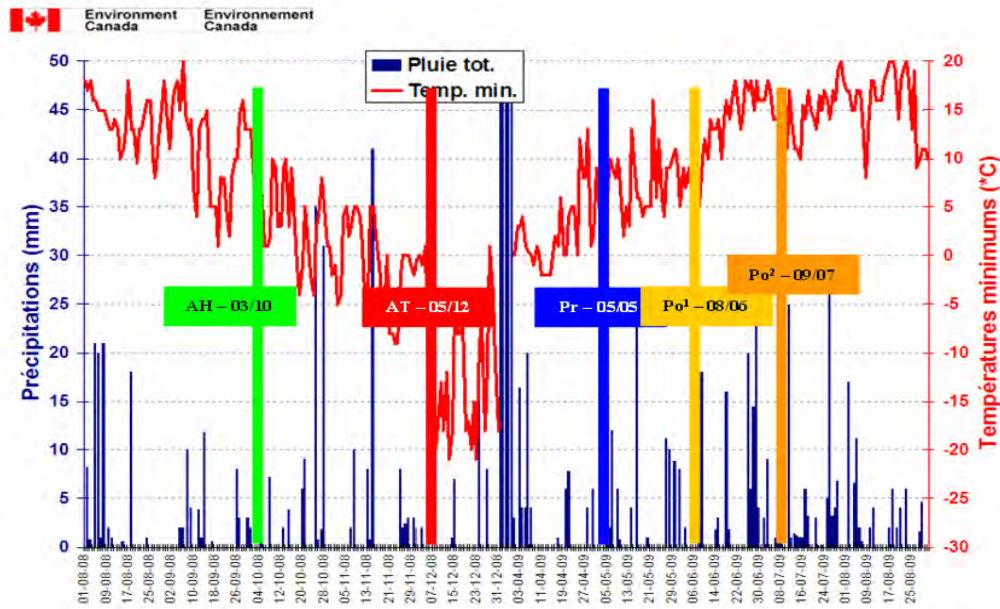


Figure 52 : Conditions climatiques et dates d'épandage pour les essais 2009

Les rendements

Il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes de rendements mesurées entre les deux types d'engrais organiques à l'étude dans cet essai. C'est-à-dire que le fumier de poulet s'est comporté similairement au lisier de porcs.

Pour les deux types d'EO, les applications au printemps sont celles qui ont le mieux performées parmi les différentes dates d'application (Figure_53).

Les rendements des applications du Pr et en Po sont statistiquement meilleures par rapport aux rendements des applications d'automne lorsque les deux types d'engrais organiques sont confondus. Les deux applications d'automne ont livré des performances de rendements inférieures, mais statistiquement égales entre elles (Figure_54).

Aucune différence n'a été observée sur la culture conséquemment à la simulation de la compaction du sol.

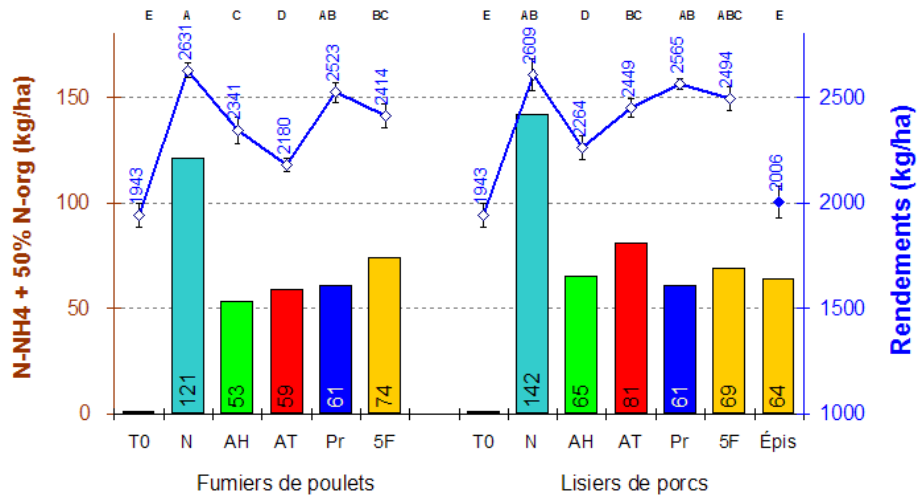


Figure 53 : Rendements et doses d'azote efficace appliquées pour les différentes périodes d'épandage des deux types d'engrais organiques.

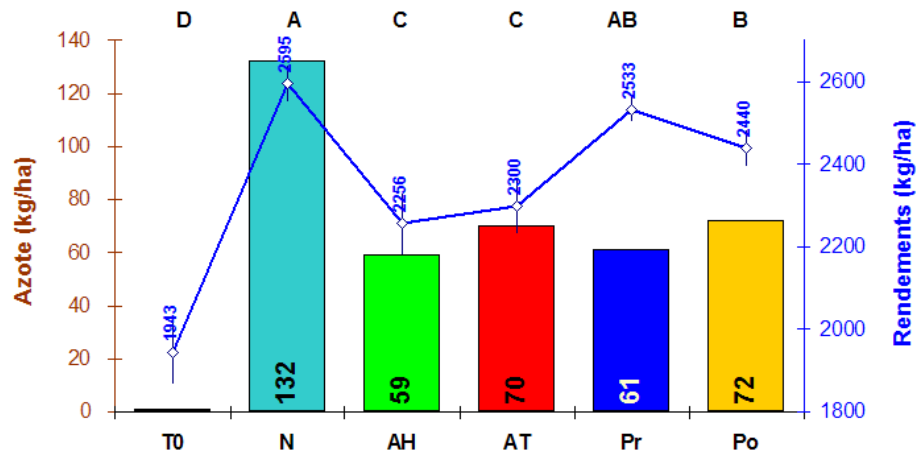


Figure 54 : Rendements et doses d'azote efficace moyennes pour les deux engrais organiques confondus.

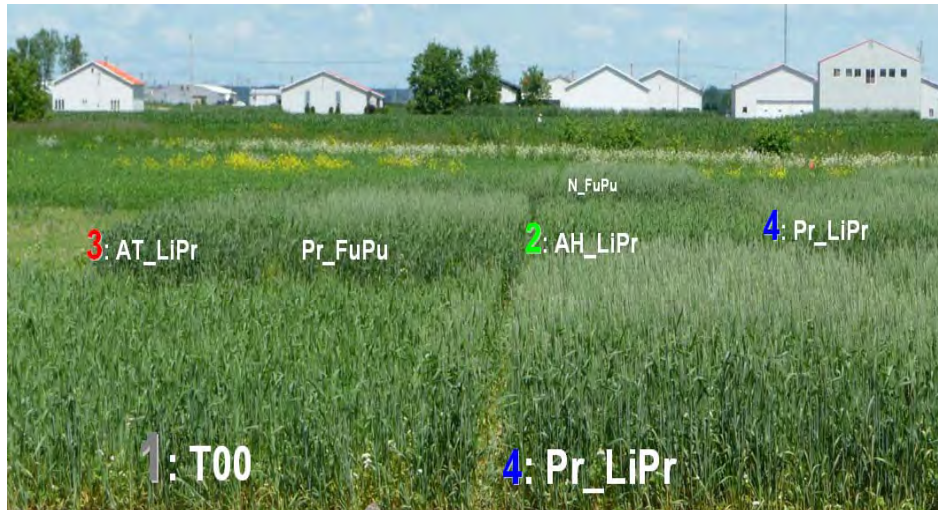


Figure 55 : Délais de croissance entre les différents traitements lors de l'épiaison du blé (voir légende Figure_51).

Il y a eu un délai de croissance très remarquable au moment de l'épiaison du blé (Figure_55) qui s'est traduit par des variations de rendements à la récolte. À la Figure_53, les rendements sont croissant dans l'ordre « T0 – AH – AT – Pr » pour les applications de lisier de porcs. L'importance du développement du blé au stade de l'épiaison à la Figure_55, s'observe selon la même séquence.

Les taux de protéines

Les taux de protéines sont significativement plus élevés dans tous les cas d'application d'engrais organique. Les applications de lisier de porcs sur les parcelles saturées et en post-émergence au stade épiaison ont produit significativement les meilleurs taux de protéines avec des taux de 14,8 et de 15,4 respectivement (Figure_56).

Les poids spécifiques

Aucune différence significative des poids spécifiques n'a été observée entre les périodes d'épandage ou les différents engrais organiques appliqués (Figure_57).

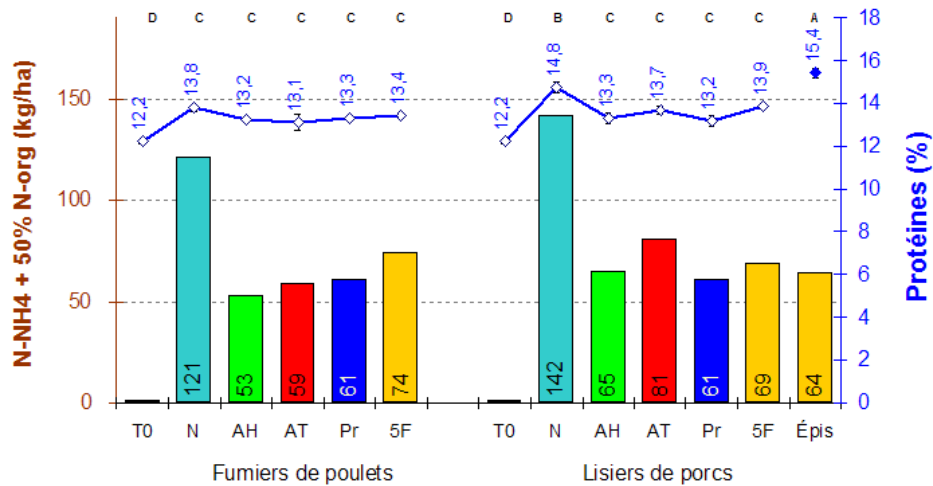


Figure 56 : Taux de protéines obtenus selon les niveaux d'azote efficace appliqués à différentes dates d'épandage.

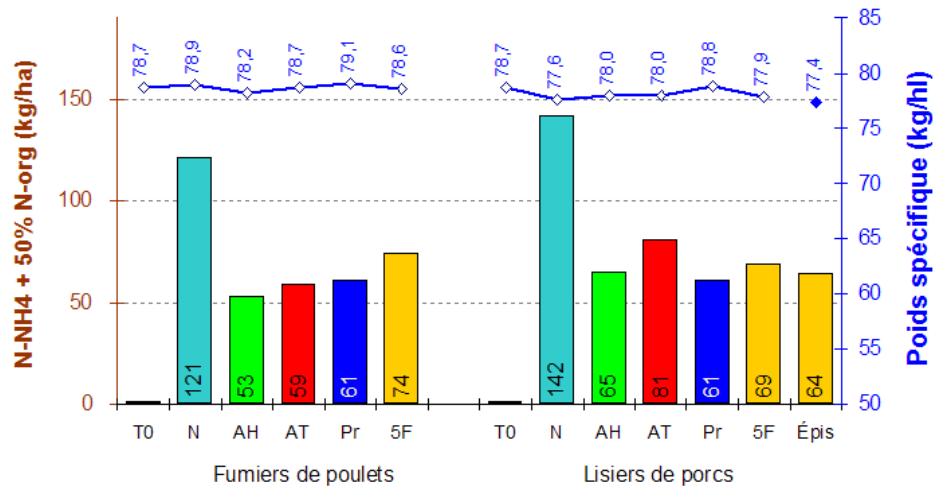


Figure 57 : Poids spécifiques obtenus selon les niveaux d'azote efficace appliqués à différentes dates d'épandage. Aucune différence significative n'a été perçue par les analyses statistiques.

La suite

L'expertise acquise au cours des trois dernières années à partir des essais scientifiques à la ferme, et au CÉROM, nous permet de mieux comprendre la gestion des EO. L'installation des parcelles d'essais au site du CÉROM offre la possibilité de poursuivre l'expertise en milieu contrôlé sur plusieurs années consécutives. La maîtrise des doses d'application d'azote organique maintenues sous les besoins des cultures associé au maintien des mêmes traitements toujours aux mêmes endroits permettra sans doute de discriminer entre elles les différentes périodes d'épandage, ainsi que les deux types d'EO.

Voici quelques points à prendre en considération :

1. Une dose d'azote unique pour toutes les périodes d'épandage pour le fumier de poulet et le lisier de porcs.
2. Une distribution uniforme des épandages d'EO sur la surface des parcelles.
3. La possibilité de choisir la meilleure fenêtre d'intervention.
4. La possibilité de mesurer l'impact de la compaction (simulée) occasionnée lors des épandages sur un sol argileux.

Nous espérons pouvoir maintenir en place ces essais pour une période de six années consécutives sous une rotation unique des cultures pour tout le site (blé / maïs-grain / soya / blé / maïs-grain / soya). Notre hypothèse étant que :

« L'application consécutive sur plusieurs années, d'une dose d'azote inférieure aux besoins des cultures, selon les différentes périodes d'épandage, en maintenant le même traitement toujours au même endroit, permettra de discriminer entre elles les différentes périodes d'épandage ».

Selon SWEETEN (1998), un sol sous-fertilisé hypothèque son plein potentiel de production au fil des ans, et un sol sur-fertilisé l'augmente. Selon cette hypothèse, si des pertes environnementales d'azote sont plus considérables lors d'une quelconque période d'épandage, l'accumulation de ces pertes au cours de plusieurs années permettra de discriminer les différentes régies d'épandage.

Conclusion

Selon les résultats obtenus, la condition du sol et les conditions climatiques qui prévalent lors des épandages sont les facteurs prédominants à considérer pour optimiser l'efficacité de l'azote des engrais organiques.

L'analyse des résultats démontre que pour la planification des épandages de fumiers de poulets sur des sols argileux en production de blé biologique, il faut se préoccuper davantage des conditions climatiques lors des épandages et des risques possibles de compaction du sol, plutôt que d'une quelconque date d'épandage.

Bibliographie

- CANTIN, J. et J. WHALEN. 2006. *The environmental risks linked to different manure application periods*. Thesis, Department of Natural Resource Sciences. McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue.
- 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.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2010. Archives nationales d'information et de données climatologiques. www.climate.weatheroffice.gc.ca
- FLEMING, R., and H. FRASER. 2000. *Impacts of winter spreading of manure on water quality*. Literature review. Ridgetown College – University of Guelph. pp. 3-11
- 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.
- 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.

- 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). Gouv. 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.